

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift
⑪ DE 3743080 A1

⑤1 Int. Cl. 4:
G 01 L 9/06
H 01 L 49/00

②1 Aktenzeichen: P 37 43 080.7
②2 Anmeldetag: 18. 12. 87
④3 Offenlegungstag: 28. 7. 88

DE 3743080 A1

③0 Unionspriorität: ③2 ③3 ③1
18.12.86 JP P 61-302299 19.12.86 JP P 61-305039
25.03.87 JP P 62-72076 25.03.87 JP P 62-72078
12.06.87 JP P 62-147513 05.08.87 JP P 62-195665

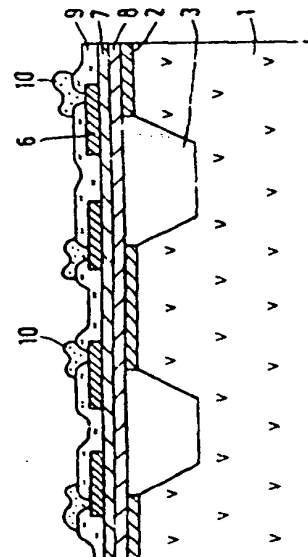
⑦1 Anmelder:
Nippondenso Co., Ltd., Kariya, Aichi, JP

⑦4 Vertreter:
Kuhnen, R., Dipl.-Ing.; Wacker, P., Dipl.-Ing.
Dipl.-Wirtsch.-Ing.; Fürniß, P., Dipl.-Chem.
Dr.rer.nat., Pat.-Anwälte; Hübner, H., Dipl.-Ing.,
Rechtsanw.; Brandl, F., Dipl.-Phys., Pat.-Anw., 8050
Freising

⑦2 Erfinder:
Fujii, Tetsuo, Toyohashi, Aichi, JP; Kuroyanagi,
Susumu, Anjo, Aichi, JP; Kuroyanagi, Akira, Okazaki,
Aichi, JP; Funahashi, Tomohiro, Kasugai, Aichi, JP;
Sakai, Minekazu, Aichi, JP; Yoshihara, Shinji, Anjo,
Aichi, JP

⑤4 Halbleiter-Druckfühler und Verfahren zu seiner Herstellung

Ein Halbleiter-Druckfühler und ein Verfahren zu seiner Herstellung werden beschrieben. Der Fühler umfaßt eine Platte (1, 2), die eine Ausnehmung (3) auf ihrer Hauptoberfläche besitzt. Ein Diaphragma (7, 8) besitzt eine untere Oberfläche, die mit einer ersten Hauptoberfläche der Platte verbunden ist und ist so geformt, daß es eine obere Oberfläche ohne Löcher aufweist. Eine piezoresistive Schicht (9) ist so gebildet, daß sie in Kontakt mit dem Diaphragma (7, 8) ist und ist so angeordnet, daß sie sich wenigstens teilweise über der Ausnehmung (3) befindet. Der Widerstand der piezoresistiven Schicht zeigt den an das Diaphragma angelegten Druck an. Die Herstellungsmethode umfaßt die Bildung einer piezoresistiven Schicht eines Einkristallsubstrats in einem Diaphragma ohne Rekristallisation.



DE 3743080 A1



Patentansprüche

1. Halbleiter-Druckfühler, gekennzeichnet durch

- a) eine Platte mit einer Ausnehmung (24, 3, 35, 38) in ihrer ersten Hauptoberfläche;
- b) ein Diaphragma, dessen untere Oberfläche mit der ersten Hauptoberfläche der Platte verbunden ist und das so geformt ist, daß es eine obere Oberfläche ohne Löcher aufweist; und
- c) eine piezoresistive Schicht (6, 24a, 45, 52, 55), die so gebildet ist, daß sie mit dem Diaphragma in Kontakt ist und so angeordnet ist, daß sie wenigstens teilweise über die Ausnehmung liegt, wobei der Widerstand der piezoresistiven Schicht den an das Diaphragma angelegten Druck angibt.

2. Halbleiter-Druckfühler nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Platte ein Substrat (1) und eine Zwischenschicht (2), die auf einer Hauptoberfläche des Substrats gebildet ist, aufweist und daß die Zwischenschicht eine Öffnung dergestalt besitzt, daß sie die Ausnehmung (3) in einem bestimmten Bereich der Zwischenschicht bildet.

3. Halbleiter-Druckfühler nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Platte ein Substrat (1) enthält, das aus einem Halbleiter gebildet ist, und daß die Ausnehmung (2a, 3, 35, 38) in dem Substrat gebildet ist.

4. Halbleiter-Druckfühler nach Anspruch 1 und/oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Platte ein Substrat (1) aus einem Einkristallhalbleiter aufweist.

5. Halbleiter-Druckfühler nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 4, insbesondere drei, dadurch gekennzeichnet, daß die piezoresistive Schicht (16, 29a, 45, 52, 55) auf dem Diaphragma gebildet ist.

6. Halbleiter-Druckfühler nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die piezoresistive Schicht (6, 29a, 45, 52, 55) auf der oberen Oberfläche des Diaphragmas gebildet ist.

7. Halbleiter-Druckfühler nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die piezoresistive Schicht (6) auf der unteren Oberfläche des Diaphragmas gebildet ist, so daß sie in die Ausnehmung (3) hineinreicht.

8. Halbleiter-Druckfühler nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 7, insbesondere 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Diaphragma eine Isolierschicht (7) aufweist und daß die piezoresistive Schicht (6) auf der Isolierschicht gebildet ist.

9. Halbleiter-Druckfühler nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 8, insbesondere 3, gekennzeichnet durch ein inertes Gas, das in der Ausnehmung eingeschlossen ist.

10. Halbleiter-Druckfühler nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 9, insbesondere 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat eine zweite Hauptoberfläche und ein durchgehendes Loch (12, 39, 39a—e), das sich von der zweiten Hauptoberfläche bis zur Ausnehmung (29, 3, 35, 38) erstreckt, besitzt.

11. Halbleiter-Druckfühler nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß das durchgehende Loch (12, 39, 39a—e) einen geringeren Durchmesser als die Ausnehmung (2a, 3, 35, 38) besitzt.

12. Halbleiter-Druckfühler nach mindestens einem

der Ansprüche 1 bis 4, 8 bis 11, insbesondere 3, dadurch gekennzeichnet, daß die piezoresistive Schicht (6, 29a, 45, 52, 55) in dem Diaphragma gebildet ist.

13. Halbleiter-Druckfühler nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß das Diaphragma eine isolierende Schicht (7) besitzt und daß die piezoresistive Schicht (6) auf der isolierenden Schicht gebildet ist.

14. Halbleiter-Druckfühler, gekennzeichnet durch

- a) ein Substrat (1, 4, 4a) mit einer Hauptoberfläche;
- b) eine auf der Hauptoberfläche des Substrats gebildete Zwischenschicht (2), die in einem bestimmten Bereich eine Öffnung (2a) besitzt; und
- c) eine piezoresistive Schicht (55), die eine untere Oberfläche in Kontakt mit der Zwischenschicht aufweist und so angeordnet ist, daß sie wenigstens teilweise über der Öffnung liegt, und die eine obere Oberfläche ohne Löcher aufweist, wobei die piezoresistive Schicht so gebildet ist, daß sie als ein Diaphragma des Fühlers wirkt, wobei der Widerstand der piezoresistiven Schicht den daran angelegten Druck angibt.

15. Halbleiter-Druckfühler nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß die piezoresistive Schicht (6, 39a, 45, 52, 55) eine Halbleiter-Einkristallschicht aufweist.

16. Verfahren zur Herstellung eines Halbleiter-Druckfühlers, gekennzeichnet durch die folgenden Stufen:

- a) man bildet eine Ausnehmung (2a, 3, 35, 38) in einem ersten Substrat (1);
- b) man dotiert mit einer Verunreinigung von einer Hauptoberfläche eines zweiten Substrats (4, 4a) eines Halbleiters zur Bildung einer piezoresistiven Schicht (6, 29a, 45, 52, 55) in einem vorbestimmten Bereich des zweiten Substrats;
- c) man bildet eine Diaphragma-Schicht auf der Hauptoberfläche des zweiten Substrats;
- d) man verbindet das erste Substrat (1) mit der Diaphragma-Schicht so, daß die piezoresistive Schicht wenigstens teilweise über der Ausnehmung angeordnet ist; und
- e) man ätzt einen Teil des zweiten Substrats fort, so daß man wenigstens die Diaphragma-Schicht zurückläßt, die als Diaphragma des Fühlers zusammen mit der piezoresistiven Schicht wirkt.

17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Dotierung mit einer Verunreinigung von einer Hauptoberfläche eines zweiten Substrats (4, 4a) eines Einkristallhalbleiters erfolgt.

18. Verfahren nach Anspruch 16 und/oder 17, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt der Bildung einer Ausnehmung (2a, 3, 35, 38) den Schritt der Bildung einer Ausnehmung in einer ersten Hauptoberfläche des ersten Substrats (1) umfaßt, und daß der Schritt des Verbindens des ersten Substrats mit der Diaphragma-Schicht den Schritt des Verbindens der ersten Hauptoberfläche des ersten Sub-



strats mit der Diaphragma-Schicht enthält.

19. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 16 bis 18, insbesondere 17, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt der Bildung einer Ausnehmung (29, 3, 35, 38) den Schritt der Bildung einer Ausnehmung in einer ersten Hauptoberfläche des ersten Substrats (1) umfaßt und daß der Schritt des Verbindens des ersten Substrats mit der Diaphragma-Schicht den Schritt des Verbindens einer zweiten Hauptoberfläche des ersten Substrats mit der Diaphragma-Schicht umfaßt.

20. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 16 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt der Bildung einer Diaphragma-Schicht den Schritt der Bildung einer Isolierschicht (7) umfaßt.

21. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 16 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß bei dem Wegätzen eines Teils des zweiten Substrats (4, 4a) nur die Diaphragma-Schicht zurückgelassen wird, die als Diaphragma wirkt, zusammen mit der piezoresistiven Schicht (6).

22. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 16 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt der Bildung einer Diaphragma-Schicht den Schritt der Bildung einer polykristallinen Siliziumschicht (11) mit einer vorbestimmten Dicke umfaßt.

23. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 16 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt des Verbindens des ersten Substrats (1) mit der Diaphragma-Schicht in der Atmosphäre von Inertgasen erfolgt.

24. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 16 bis 23, insbesondere 18, weiterhin gekennzeichnet durch den Schritt der Bildung eines durchgehenden Loches (12, 39, 39a-e), das sich von einer zweiten Hauptoberfläche des ersten Substrats (1) bis zu der Ausnehmung (2a, 3, 35, 38) erstreckt.

25. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 16 bis 24, insbesondere 24, dadurch gekennzeichnet, daß die Bildung eines durchgehenden Loches (12, 39, 39a-e) mit einem geringeren Durchmesser als derjenige der Ausnehmung (2a, 3, 35, 38) erfolgt.

26. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 16 bis 25, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt des Wegätzens eines Teils des zweiten Substrats (4, 4a) den Schritt des Wegätzens einer vorbestimmten Dicke des zweiten Substrats umfaßt.

27. Verfahren zur Herstellung eines Halbleiter-Druckfühlers, gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:

a) man bildet eine Ausnehmung (2a, 3, 35, 38) in einer Hauptoberfläche eines ersten Substrats (1);

b) man bildet eine Diaphragma-Schicht, die eine piezoresistive Schicht (6, 29a, 45, 52, 53) in einem vorbestimmten Bereich besitzt, auf einer Hauptoberfläche eines zweiten Substrats (4, 4a) eines Halbleiters;

c) man verbindet die Hauptoberfläche des ersten Substrats mit der Diaphragma-Schicht, so daß die piezoresistive Schicht wenigstens teilweise oberhalb der Ausnehmung angeordnet ist; und

d) man ätzt das zweite Substrat weg und läßt die Diaphragma-Schicht mit einer piezoresistiven Schicht zurück, die als Diaphragma des

Fühlers wirkt.

28. Verfahren zur Herstellung eines Halbleiter-Druckfühlers, gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:

a) man bildet eine Ausnehmung (3) in der Hauptoberfläche eines ersten Substrats (1);

b) man bildet eine Diaphragma-Schicht (5) auf einer Hauptoberfläche eines zweiten Substrats (4) eines Halbleiters;

c) man verbindet die Hauptoberfläche des ersten Substrats (1) mit der Diaphragma-Schicht (5);

d) man ätzt wenigstens einen Teil des zweiten Substrats weg und läßt ein Diaphragma zurück, das wenigstens die Diaphragma-Schicht besitzt; und

e) man bildet eine piezoresistive Schicht so, daß sie mit dem Diaphragma in Kontakt ist und so angeordnet ist, daß sie sich wenigstens teilweise über der Ausnehmung (3) befindet.

29. Verfahren nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, daß man das gesamte zweite Substrat (4) wegätzt und daß man eine piezoresistive Schicht (6) auf dem Diaphragma bildet.

30. Verfahren nach Anspruch 28 und/oder 29, dadurch gekennzeichnet, daß man eine vorbestimmte Dicke des zweiten Substrats wegätzt, so daß diese in einer vorbestimmten Dicke verbleibt, zusammen mit der Diaphragma-Schicht, wobei die Bildung einer piezoresistiven Schicht in dem zweiten Substrat erfolgt.

31. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 28 bis 30, insbesondere 30, dadurch gekennzeichnet, daß die Bildung einer Diaphragma-Schicht (5) auf einer Hauptoberfläche eines zweiten Substrats (4) eines Einkristallhalbleiters erfolgt.

32. Verfahren zur Herstellung eines Halbleiter-Druckfühlers, gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:

a) man bildet eine Ausnehmung (3) in einer Hauptoberfläche eines ersten Substrats (1);

b) man bildet eine Diaphragma-Schicht (5) auf einer Hauptoberfläche eines zweiten Substrats (4);

c) man bildet eine piezoresistive Schicht (6) in einem vorbestimmten Bereich der Diaphragma-Schicht;

d) man verbindet die Hauptoberfläche des ersten Substrats mit der Diaphragma-Schicht (5), so daß die piezoresistive Schicht (6) in die Ausnehmung (3) hineinreicht; und

e) man ätzt das zweite Substrat (4) weg, so daß man die Diaphragma-Schicht (5) zurückläßt, die als Diaphragma des Fühlers wirkt, zusammen mit der piezoresistiven Schicht (6).

33. Verfahren zur Herstellung eines Halbleiter-Druckfühlers, gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:

a) man stellt ein erstes Substrat (1) zur Verfügung;

b) man stellt ein zweites Substrat (4, 4a) aus



einem Halbleiter zur Verfügung;

c) man dotiert mit einer Verunreinigung einer Hauptoberfläche des zweiten Substrats zur Bildung einer piezoresistiven Schicht (6, 29a, 45, 52, 55) in einem vorbestimmten Bereich des zweiten Substrats;

d) man bildet eine Diaphragma-Schicht auf der Hauptoberfläche des zweiten Substrats;

e) man verbindet das erste Substrat (1) mit der Diaphragma-Schicht durch eine Zwischenschicht (2), die sich dazwischen erstreckt und eine Öffnung darin aufweist, die der piezoresistiven Schicht entspricht; und

f) man ätzt einen Teil des zweiten Substrats weg und läßt so wenigstens die Diaphragma-Schicht zurück, die als Diaphragma des Sensors wirkt, zusammen mit der piezoresistiven Schicht.

34. Verfahren nach Anspruch 33, dadurch gekennzeichnet, daß man als zweites Substrat einen Einkristallhalbleiter (4, 4a) zur Verfügung stellt.

35. Verfahren zur Herstellung eines Halbleiter-Druckfühlers, enthalten die folgenden Schritte:

a) man stellt ein erstes Substrat (1) zur Verfügung;

b) man stellt ein zweites Substrat (4, 4a) eines Halbleiters zur Verfügung;

c) man verbindet das erste Substrat mit dem zweiten Substrat durch eine Zwischenschicht (2), die sich dazwischen erstreckt und eine Öffnung (2a) darin aufweist;

d) man ätzt eine vorbestimmte Dicke des zweiten Substrats (2) weg und läßt so eine vorbestimmte Dicke davon zurück, das als Diaphragma des Fühlers wirkt; und

e) man bildet eine piezoresistive Schicht (6, 29a, 45, 52, 55) so, daß sie mit dem zweiten Substrat in Berührung kommt und so angeordnet ist, daß sie sich wenigstens teilweise über der Öffnung befindet.

36. Verfahren nach Anspruch 35, dadurch gekennzeichnet, daß man als zweites Substrat einen Einkristallhalbleiter zur Verfügung stellt.

37. Verfahren nach Anspruch 35 und/oder 36, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt der Bildung einer piezoresistiven Schicht den Schritt des Dotierens mit einer Verunreinigung in dem zweiten Substrat (4, 4a) umfaßt, so daß die piezoresistive Schicht in dem zweiten Substrat gebildet ist.

38. Verfahren zur Herstellung eines Halbleiter-Druckfühlers, gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:

a) man stellt ein erstes Substrat (1) zur Verfügung;

b) man stellt ein zweites Substrat (4, 4a) eines Halbleiters zur Verfügung;

c) man dotiert mit einer Verunreinigung von einer Hauptoberfläche des zweiten Substrats zur Bildung einer piezoresistiven Schicht (6, 29a, 45, 52, 55) in einem vorbestimmten Bereich des zweiten Substrats;

d) man verbindet das erste Substrat mit der Hauptoberfläche des zweiten Substrats durch eine Zwischenschicht (2), die sich dazwischen

erstreckt und eine Öffnung (2a) darin aufweist, die der piezoresistiven Schicht entspricht und

e) man ätzt einen Teil des zweiten Substrats weg und läßt so die piezoresistive Schicht zurück, die als Diaphragma des Sensors wirkt.

39. Verfahren nach Anspruch 38, dadurch gekennzeichnet, daß man als zweites Substrat einen Einkristallhalbleiter zur Verfügung stellt.

Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft einen Halbleiter-Druckfühler, der den piezoresistiven Effekt ausnutzt, sowie ein Verfahren zu seiner Herstellung.

Unter Ausnutzung der Tatsache, daß ein Widerstand beim Anlegen einer mechanischen Spannung aufgrund des piezoresistiven Effektes verändert wird, wird ein Halbleiter-Druckfühler zur Feststellung der Widerstandsänderung aufgrund des piezoresistiven Effektes zur Druckmessung dadurch benutzt, daß man einen Bereich eines Siliziumeinkristallsubstrats zur Bildung eines Diaphragmas verdünnt, einen Dehnungsmesser aus einer Diffusionsschicht in einer in dem Diaphragma gebildeten epitaxialen Schicht bildet und den Dehnungsmesser unter Druck verformt.

Die Manuskripte P 27-28 des 6. Symposiums "THE BASIC AND APPLICATION OF SENSOR" ("Die Grundlage und Anwendung des Meßwertgebers oder Fühlers") mit dem Titel "Micro-Diaphragm Pressure Sensor" ("Druckfühler mit Mikrodiaphragma") offenbaren einen Halbleiter-Druckfühler, der mit Bezug auf Fig. 20 beschrieben werden soll. Diese Vorrichtung umfaßt ein Substrat 100 mit einer Kristallebene (100), die eine geätzte Ausnehmung oder einen geätzten Hohlraum 100a besitzt. Ein Siliziumoxidfilm 101 wird in einem vorbestimmten Bereich über der Hauptfläche des Substrats 100 gebildet. Eine polykristalline Siliziumschicht 102 wird in einem vorbestimmten Bereich in dem Teil, der nicht mit dem Siliziumoxidfilm 101 gebildet ist (aber mit dem Hohlraum 100a gebildet ist), und oberhalb des Siliziumoxidfilms um den Teil herum, der durch Ätzen entfernt wird, gebildet. Ein erster Siliziumnitridfilm 103 wird über der polykristallinen Siliziumschicht 102 und dem Siliziumoxidfilm 101 gebildet, der ein Ätzloch 106 darin aufweist. Über dem ersten Siliziumnitridfilm 103 werden ein Dehnungsmesser 104 aus einem polykristallinen Silizium eines vorbestimmten Musters und ein zweiter Siliziumnitridfilm 105 gebildet. Durch das Ätzloch 106 wird der Hohlraum 101 in einer gewünschten Stellung durch Unterschneidungsätzen gebildet, indem man von der relativ großen Ätzrate des polykristallinen Siliziums Gebrauch macht. Der Siliziumnitridfilm, der über dem Hohlraum 100a liegt, wird als Diaphragma verwendet. Zum Schluß wird der Druckfühler dadurch hergestellt, daß man das Ätzloch 105 mit einem dritten Siliziumnitridfilm 107, der durch das CVD-Verfahren (Chemical Vapor Deposition) gebildet wird, abschließt.

Bei dem so gebauten Halbleiter-Druckfühler wird das Siliziumeinkristallsubstrat 100 von seiner Oberfläche an der Seite, die mit dem Dehnungsmesser gebildet werden soll, geätzt, zur Bildung des Hohlraums 100a und zur Verwendung des darüberliegenden Siliziumnitridfilms als Diaphragma. Hierdurch wird es möglich, das Volumen des Siliziumeinkristallsubstrats 100 auf einen relativ kleinen Wert zu reduzieren und dadurch das Diaphragma zu verdünnen, um seine Größe zu verringern.



1
2
3
4

Da jedoch der Dehnungsmesser 104 aus dem polykristallinen Silizium hergestellt ist, hat der Halbleiter-Druckfühler eine geringere Empfindlichkeit als derjenige, der aus Siliziumeinkristall hergestellt ist, so daß seine Charakteristiken nicht sehr einheitlich sind. In diesem Zusammenhang wurde eine Technik vorgeschlagen, bei der ein Einkristalldehnungsmesser durch Rekristallisation des polykristallinen Siliziums gebildet wird. Gemäß dieser Technik ist es jedoch schwierig, die Charakteristiken gleichförmiger zu machen; weiterhin erhöht die Rekristallisation die Herstellungskosten.

Da ferner das Diaphragma in dem Bereich, in dem das Ätzloch 106 gebildet ist, nicht glatt ist, ist dieser Bereich gegen mechanische Belastung schwach. Wenn andererseits das Ätzloch 106 mit dem dritten Siliziumnitridfilm 107 abgedichtet werden soll, werden die Dispersionen leicht Ursache dafür, daß der dritte Siliziumnitridfilm 107 das Ätzloch 106 auffüllt, so daß die Leistungscharakteristiken des Druckfühlers unbeständig sind.

Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, einen Halbleiter-Druckfühler geringer Ausmessungen zur Verfügung zu stellen, der ein glattes Diaphragma und beständige charakteristische Merkmale für die Leistung besitzt.

Weiterhin liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Herstellung einer piezoresistiven Schicht eines Einkristallhalbleiters in dem Diaphragma ohne jegliche Umkristallisation zu erzeugen.

Gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird ein Halbleiter-Druckfühler mit den folgenden Merkmalen vorgesehen: eine Platte mit einer Ausnehmung in einer ihrer Hauptoberflächen; ein Diaphragma mit einer unteren Oberfläche, die mit der ersten Hauptoberfläche der Platte verbunden ist und so gebildet ist, daß sie eine obere Oberfläche ohne darin befindliche Löcher besitzt; und eine piezoresistive Schicht, die so gebildet ist, daß sie mit dem Diaphragma in Berührung steht und so angeordnet ist, daß sie wenigstens teilweise oberhalb der Ausnehmung liegt, wobei der Widerstand der piezoresistiven Schicht ein Anzeichen für den an das Diaphragma angelegten Druck ergibt.

Gemäß einer zweiten Ausführungsform der Erfindung wird ein Halbleiter-Druckfühler mit den folgenden Merkmalen vorgesehen: ein Substrat mit einer Hauptoberfläche; eine auf der Hauptoberfläche des Substrats gebildete Zwischenschicht mit einer Öffnung in einem vorbestimmten Bereich; und eine piezoresistive Schicht, deren untere Oberfläche in Kontakt mit der Zwischenschicht ist und die so angeordnet ist, daß sie wenigstens teilweise über der Öffnung liegt und eine obere Oberfläche ohne Löcher besitzt, wobei die gebildete piezoresistive Schicht als Diaphragma des Fühlers wirkt, wobei der Widerstand der piezoresistiven Schicht ein Anzeichen für den darauf angebrachten Druck ergibt.

Gemäß einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zur Herstellung eines Halbleiter-Druckfühlers vorgesehen, das die folgenden Schritte aufweist: man bildet eine Ausnehmung in einem ersten Substrat; man dotiert mit einer Verunreinigung von einer Hauptoberfläche eines zweiten Substrats eines Halbleiters zur Bildung einer piezoresistiven Schicht in einem vorbestimmten Bereich des zweiten Substrats; man bildet eine Diaphragmaschicht auf der Hauptoberfläche des zweiten Substrats; man verbindet das erste Substrat mit der Diaphragmaschicht; so daß die piezoresistive Schicht wenigstens teilweise oberhalb der Ausnehmung angeordnet wird; und man ätzt einen

Teil des zweiten Substrats weg und läßt so wenigstens die Diaphragmaschicht zurück, die als Diaphragma des Fühlers zugleich mit der piezoresistiven Schicht wirkt.

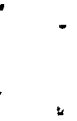
Gemäß einer vierten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zur Herstellung eines Halbleiter-Druckfühlers zur Verfügung gestellt, das die folgenden Schritte aufweist: man bildet eine Ausnehmung in einer Hauptoberfläche eines ersten Substrats; man bildet eine Diaphragmaschicht mit einer piezoresistiven Schicht in einem vorbestimmten Bereich davon auf einer Hauptoberfläche eines zweiten Substrats eines Halbleiters; man verbindet die Hauptoberfläche des ersten Substrats mit der Diaphragmaschicht, so daß die piezoresistive Schicht wenigstens teilweise oberhalb der Ausnehmung zu liegen kommt; und man ätzt das zweite Substrat weg, wodurch die Diaphragmaschicht mit einer piezoresistiven Schicht zurückbleibt, die als Diaphragma des Fühlers wirkt.

Gemäß einer fünften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zur Herstellung eines Halbleiter-Druckfühlers zur Verfügung gestellt, das die folgenden Schritte aufweist: man bildet eine Ausnehmung in einer Hauptoberfläche eines ersten Substrats; man bildet eine Diaphragmaschicht auf einer Hauptoberfläche eines zweiten Substrats eines Halbleiters; man verbindet die Hauptoberfläche des ersten Substrats mit der Diaphragmaschicht; man ätzt wenigstens einen Teil des zweiten Substrats weg, wobei man ein Diaphragma mit wenigstens der Diaphragmaschicht zurückläßt; man bildet eine piezoresistive Schicht so, daß sie in Kontakt mit dem Diaphragma steht und wenigstens teilweise oberhalb der Ausnehmung angeordnet ist.

Gemäß einer sechsten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zur Herstellung eines Halbleiterdrucksensors zur Verfügung gestellt, das die folgenden Schritte aufweist: man bildet eine Ausnehmung in einer Hauptoberfläche eines ersten Substrats; man bildet eine Diaphragmaschicht auf einer Hauptoberfläche eines zweiten Substrats; man bildet eine piezoresistive Schicht in einem vorbestimmten Bereich der Diaphragmaschicht; man verbindet die Hauptoberfläche des ersten Substrats mit der Diaphragmaschicht, so daß die piezoresistive Schicht in die Ausnehmung eintritt; und man ätzt das zweite Substrat so weg, daß die Diaphragmaschicht zurückbleibt, die als Diaphragma des Fühlers zusammen mit der piezoresistiven Schicht wirkt.

Gemäß einer siebten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zur Herstellung eines Halbleiter-Druckfühlers zur Verfügung gestellt, das die folgenden Schritte aufweist: man stellt ein erstes Substrat zur Verfügung; man stellt ein zweites Substrat eines Halbleiters zur Verfügung; man dotiert mit einer Verunreinigung aus einer Hauptoberfläche des zweiten Substrats zur Bildung einer piezoresistiven Schicht in einem vorher bestimmten Bereich des zweiten Substrats; man bildet eine Diaphragmaschicht auf der Hauptoberfläche des zweiten Substrats; man verbindet das erste Substrat mit der Diaphragmaschicht durch eine Zwischenschicht, die sich dazwischen erstreckt und eine Öffnung aufweist, die mit der piezoresistiven Schicht übereinstimmt; und man ätzt einen Bereich des zweiten Substrats weg, so daß man wenigstens die Diaphragmaschicht übrigläßt, die als Diaphragma des Fühlers zusammen mit der piezoresistiven Schicht dient.

Gemäß einer achten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zur Herstellung eines



Halbleiter-Druckfühlers zur Verfügung gestellt, das die folgenden Schritte aufweist: man stellt ein erstes Substrat zur Verfügung; man stellt ein zweites Substrat eines Halbleiters zur Verfügung; man verbindet das erste Substrat mit dem zweiten Substrat durch eine Zwischenschicht, die sich dazwischen erstreckt und eine Öffnung aufweist; man ätzt eine vorbestimmte Dicke des zweiten Substrats weg, so daß man das zweite Substrat in einer vorbestimmten Dicke zurückläßt, das als Diaphragma des Fühlers wirkt; und man bildet so eine piezoresistive Schicht, daß sie mit dem zweiten Substrat in Berührung steht und so angeordnet ist, daß sie wenigstens teilweise über der Öffnung liegt.

Gemäß einer neunten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zur Herstellung eines Halbleiter-Druckfühlers zur Verfügung gestellt, das die folgenden Schritte aufweist: man stellt ein erstes Substrat zur Verfügung; man stellt ein zweites Substrat eines Halbleiters zur Verfügung; man dotiert mit einer Verunreinigung von einer Hauptoberfläche des zweiten Substrats zur Bildung einer piezoresistiven Schicht in einem vorbestimmten Bereich des zweiten Substrats; man verbindet das erste Substrat mit der Hauptoberfläche des zweiten Substrats durch eine Zwischenschicht, die sich dazwischen erstreckt und darin eine Öffnung besitzt, die mit der piezoresistiven Schicht übereinstimmt; und man ätzt einen Teil des zweiten Substrats weg unter Zurücklassung der piezoresistiven Schicht, die als Diaphragma des Fühlers wirkt.

Fig. 1(a) bis 1(g) sind Querschnitte zur Erläuterung eines Halbleiter-Druckfühlers gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 2 ist ein Querschnitt zur Erläuterung einer ersten Modifikation der ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 3 ist ein Querschnitt zur Erläuterung einer zweiten Modifikation der ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 4 ist ein Querschnitt zur Erläuterung einer dritten Modifikation der ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 5 ist ein Querschnitt zur Erläuterung einer vierten Modifikation der ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 6 ist ein schematisches Blockdiagramm, das einen Heliumleckdetektor darstellt;

Fig. 7(a) bis 7(c) sind Querschnitte zur Erläuterung eines Halbleiter-Druckfühlers gemäß der zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 8(a) bis 8(c) sind Querschnitte zur Erläuterung eines Halbleiter-Druckfühlers gemäß einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 9(a) bis 9(e) sind Querschnitte zur Erläuterung eines Halbleiter-Druckfühlers gemäß einer vierten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 10(a) bis 10(d) sind Querschnitte zur Erläuterung eines Halbleiter-Druckfühlers gemäß einer fünften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 11(a) bis 11(e) sind Querschnitte zur Erläuterung eines Halbleiter-Druckfühlers gemäß einer sechsten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 12(a) bis 12(g) sind Querschnitte zur Erläuterung eines Halbleiter-Druckfühlers gemäß einer siebten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 13(a) bis 13(e) sind Querschnitte, die eine Modifizierung eines durchgehenden Loches in der siebten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigen;

Fig. 14(a) und 14(b) sind schematische Darstellungen

zur Erläuterung eines anderen Beispiels der siebten Ausführungsform gemäß der vorliegenden Erfindung;

Fig. 15(a) bis 15(g) sind Querschnitte zur Erläuterung eines Halbleiter-Druckfühlers gemäß einer achten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 16(a) bis 16(g) sind Querschnitte zur Erläuterung eines Halbleiter-Druckfühlers gemäß einer neunten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 17(a) bis 17(f) sind Querschnitte zur Erläuterung eines Halbleiter-Druckfühlers gemäß einer zehnten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 18(a) bis 18(d) sind Querschnitte zur Erläuterung eines Halbleiter-Druckfühlers gemäß einer elften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 19(a) bis 19(d) sind Querschnitte zur Erläuterung eines Halbleiter-Druckfühlers gemäß einer zwölften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 19(e) ist eine Aufsicht auf den Halbleiter-Druckfühler gemäß der zwölften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung; und

Fig. 20 ist ein Querschnitt mit der Darstellung eines Halbleiter-Druckfühlers gemäß dem Stand der Technik.

Erste Ausführungsform

Ein Halbleiter-Druckfühler gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird im folgenden in der Reihenfolge seiner Herstellungsschritte mit Bezug auf Fig. 1(a) bis 1(g) beschrieben.

In Fig. 1(a) bezeichnet Bezugsziffer 1 ein erstes Siliziumeinkristallsubstrat mit einer Kristallebene (100). Ein Film 2 aus Siliziumoxid (SiO_2) wird in einem vorbestimmten Bereich auf der Hauptoberfläche des ersten Siliziumeinkristallsubstrats 1 gebildet. Unter Verwendung des Siliziumoxidfilms 2 als Maske wird das erste Siliziumeinkristallsubstrat 1 mit einer anisotropen Ätzflüssigkeit, wie zum Beispiel Kaliumhydroxyd (KOH) geätzt und bildet eine Ausnehmung 3, wie in Fig. 1(b) dargestellt. Alternativ dazu kann das Substrat die Kristallebene (110) besitzen und kan Pyrexglas oder Saphir mit Ausnehmungen sein.

Wie in Fig. 1(c) dargestellt wird, wird andererseits ein zweites Siliziumeinkristallsubstrat 4 des N-leitfähigen Typs mit einem spezifischen Widerstand von 3 bis 5 Ohm/cm und einer Kristallebene von zum Beispiel (100) oder (110) mit einem Siliziumoxidfilm 5 auf einen vorbestimmten Bereich auf seiner Oberfläche gebildet. Dieser Siliziumoxidfilm 5 wird als Maske verwendet zum Diffundieren einer Verunreinigung vom P-Typ, wie zum Beispiel Bor (B) mit einer hohen Dosis, wodurch eine piezoresistive Schicht 6 in der Richtung $\langle 110 \rangle$ gebildet wird. Anschließend wird der Siliziumoxidfilm 5 entfernt. Wie in Fig. 1(d) dargestellt wird, wird danach über die gesamte Hauptoberfläche des zweiten Siliziumeinkristallsubstrats 4 mittels des LPCVD- oder Plasma-CVD-Verfahrens ein Film aus Siliziumnitrid (Si_3N_4) mit einer Dicke von 0,1 bis 2,0 Mikrometer gebildet, der mit einem BPSG-Film 8 abgedeckt wird. Zu diesem Zeitpunkt besitzt der BPSG-Film 8 eine im allgemeinen glatte Oberfläche. Weiterhin können entweder die Schritte der Fig. 1(a) und 1(b) oder die Schritte der Fig. 1(c) und 1(d) zuerst durchgeführt werden oder beide können gleichzeitig erledigt werden.

Wie in Fig. 1(e) dargestellt wird, wird dann der BPSG-Film 8, der über dem zweiten Siliziumeinkristallsubstrat 4 gebildet ist, so auf der Hauptoberfläche des ersten Siliziumeinkristallsubstrats 1 durch Ausrichtung unter Verwendung zum Beispiel eines Infrarotmikroskops an-



geordnet, daß die oberen und unteren Muster je nach vorheriger Einstellung überlappt sein können. Hier bei der vorliegenden Ausführungsform sind die Umfänge der ersten und zweiten Siliziumeinkristallsubstrate 1 und 4 (oder ihrer Wafer) zeitweilig miteinander verbunden, indem sie im Vakuum mit einem Laserstrahl verschweißt sind. Danach wird in einem Vakuumofen bei etwa 1000°C bis zur Schmelze des BPSG-Films 8 gesintert, um die ersten und zweiten Siliziumeinkristallsubstrate 1 und 4 miteinander zu verschweißen. Da in diesem Beispiel das Schweißen im Vakuum durchgeführt wird, wird die Ausnehmung 3 evakuiert und ergibt so eine Bezugsdruckkammer. Um das Schweißen vollständig zu Ende zu führen, wird das Substrat mit einem Gewicht belastet. Nebenbei kann das Verbinden der ersten und zweiten Siliziumeinkristallsubstrate 1 und 4 außer nach dem obengenannten Verfahren noch durch die folgenden Verfahren durchgeführt werden:

1. unter Verwendung von Glas eines niedrigeren Schmelzpunkts anstelle des BPSG-Films 8,
2. unter Verwendung des "anodischen Verbindens" zur Verbindung des ersten Substrats mit dem BPSG-Film (in diesem Fall wird zuerst der Siliziumoxidfilm 2 von dem Siliziumeinkristallsubstrat 1 entfernt),
3. durch direktes Verbinden in Vakuum und in einem heißen Ofen ohne jedes zeitweilige Verbinden, und
4. unter Bildung des verbindenden BPSG-Films 8 nicht auf der ganzen Oberfläche des Siliziumnitridfilms 7, sondern nur partiell auf den zu verbindenden Bereichen.

Nebenbei bemerkt kann der Siliziumnitridfilm 7, der als Isolierfilm wirkt, ein anderer isolierender Film, wie zum Beispiel ein Siliziumoxidfilm, sein.

Als nächstes wird, wie in Fig. 1(f) dargestellt, die andere Hauptfläche (oder Rückseite) des ersten Siliziumeinkristallsubstrats 1 mit Wachs beschichtet (nicht dargestellt), und das zweite Siliziumeinkristallsubstrat 4 wird von seiner anderen Hauptfläche (oder Rückseite) mit einer anisotropen Ätzflüssigkeit, die zum Beispiel hauptsächlich aus Äthylendiamin (260 ml), Pyrocatechin (45 g) und Wasser (120 ml) zusammengesetzt sein kann, weggeätzt. In diesem Fall schreitet das Ätzen selektiv in die Bereiche des N-leitfähigen Typs vor und läßt die meisten Bereiche der piezoresistiven Schicht 6 und den Siliziumnitridfilm 7, die mit Bor dotiert sind, zurück. So wird die piezoresistive Einkristallschicht 6 über dem Siliziumnitridfilm 7, der als isolierender Film wirkt, gebildet. Wie in Fig. 1(g) dargestellt, werden weiterhin ein Oberflächenschutzfilm 9 und eine Leitungsschicht 10 zum Aufbau des Halbleiter-Druckfühlers gemäß der vorliegenden Erfindung gebildet.

In dieser Ausführungsform setzt sich die Platte aus dem ersten Siliziumeinkristallsubstrat und dem Siliziumoxidfilm 2 zusammen und das Diaphragma setzt sich aus dem Siliziumnitridfilm 7 und dem BPSG-Film 8 zusammen. Daher kann die piezoresistive Schicht 6 von dem ersten Siliziumeinkristallsubstrat 1 durch den Siliziumnitridfilm usw. vollständig isoliert sein, so daß der Halbleiter-Druckfühler gemäß der vorliegenden Ausführungsform selbst bei seiner Benutzung bei hoher Temperatur stabile Eigenschaften besitzt. In der vorliegenden Ausführungsform wird jedoch die piezoresistive Einkristallschicht 6 über dem Siliziumnitridfilm 7 gebildet, so daß die Empfindlichkeit mit weniger Dispersion

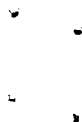
erhöht werden kann als diejenige einer polykristallinen piezoresistiven Schicht. Der Halbleiter-Druckfühler gemäß der vorliegenden Ausführungsform ist insofern wirksam, als die Dispersion der Eigenschaften kleiner gemacht werden kann, um die Herstellungskosten zu senken aus bei dem Aufbau, bei dem das polykristalline Silizium zur Bildung einer piezoresistiven Schicht umkristallisiert wird.

Die Hauptoberfläche des ersten Siliziumeinkristallsubstrats 1 wird an der Seite der piezoresistiven Schicht 6 mit der Ausnehmung 3 gebildet und das Volumen, das zur Bildung der Ausnehmung geätzt werden muß, ist relativ gering, so daß das erste Siliziumeinkristallsubstrat 1 mit entsprechend hohem Wirkungsgrad verwendet werden kann. Der Halbleiter-Druckfühler kann als Ganzer geringe Dimensionen aufweisen, falls eine Schaltung zum Verarbeiten des Signals von dem Halbleiter-Druckfühler in dem ersten Siliziumeinkristallsubstrat 1 gebildet wird. Bei dieser Ausführungsform ist weiterhin das Diaphragma, das sich aus dem Siliziumnitridfilm 7 und dem BPSG-Film 8 zusammensetzt, im allgemeinen glatt über der Ausnehmung 3 und über den ganzen ersten Siliziumeinkristallsubstrat 1 um die Ausnehmung 3 herum ausgebildet, jedoch ist keinerlei Ätzloch im Unterschied zur Ausbildung nach dem Stand der Technik gebildet, so daß der Halbleiter-Druckfühler gemäß der vorliegenden Erfindung entsprechend stark gegen mechanische Beanspruchung und stabil in seinen Leistungscharakteristiken ist.

Als nächstes wird eine erste Modifizierung (alternative Ausführungsform) der ersten Ausführungsform mit Bezug auf Fig. 2 beschrieben. Die Dicke des Diaphragmas der Ausführungsform, die in Fig. 1 dargestellt wird, ist in Abhängigkeit von der Dicke des Siliziumnitridfilms 7 eingestellt. Wie in Fig. 2 jedoch gezeigt wird, kann das zweite Siliziumeinkristallsubstrat 4 vor dem Verbinden durch Bilden einer polykristallinen Siliziumschicht 11 oder einer umkristallisierten Siliziumeinkristallschicht mit einem geeigneten thermischen Ausdehnungskoeffizienten auf dem Siliziumnitridfilm 7 und durch Bilden des BPSG-Films 8 auf der polykristallinen Siliziumschicht 11 gebildet werden, so daß die Dicke des Diaphragmas in Abhängigkeit von der Dicke der polykristallinen Siliziumschicht 11 willkürlich eingestellt werden kann. Nebenbei bemerkt setzt sich in diesem Fall das Diaphragma aus dem Siliziumnitridfilm 7, dem BPSG-Film 8 und der polykristallinen Siliziumschicht 11 zusammen.

Eine zweite Modifizierung der ersten Ausführungsform wird in Fig. 3 dargestellt. Zwar ist die in Fig. 1 gezeigte Ausführungsform als absoluter Druckfühler ausgebildet, jedoch kann das erste Siliziumeinkristallsubstrat 1 im voraus zur Bildung einer Belüftungsöffnung 12 geöffnet werden, wie in Fig. 3 dargestellt, so daß der Halbleiter-Druckfühler als ein relativer Druckfühler verwendet werden kann.

Eine dritte Modifizierung der ersten Ausführungsform wird in Fig. 4 dargestellt. Gemäß dieser Modifizierung wird eine Schaltung zum Verarbeiten der Ausgangsleistung des Halbleiter-Druckfühlers in dem ersten Siliziumeinkristallsubstrat 1 gebildet. Fig. 4 zeigt ein MOSFET als ein Bauteil der Schaltung für die Verarbeitung des Ausgangssignals. Ein P-Brunnenbereich 13 wird in dem ersten Siliziumeinkristallsubstrat 1 gebildet. Eine N⁺-Senke 14 bzw. Draindiffusionsbereich 15 werden in dem Brunnenbereich 13 vom P-Typ gebildet. Bezugsziffer 16 bezeichnet einen Feldisolierfilm; Bezugsziffern 17 und 18 bezeichnen Source- bzw. Drain-



Elektroden; Bezugsziffer 19 eine Gateelektrode und Bezugsziffer 20 einen Isolierfilm, die alle nach den bekannten Techniken für die Halbleiterherstellung gebildet worden sind.

Eine vierte Modifizierung der ersten Ausführungsform wird in Fig. 5 dargestellt. In der in Fig. 1 dargestellten Ausführungsform wird die Verbindung von erstem und zweite m-Siliziumeinkristallsubstrat 1 und 4 durch temporäres Verschweißen der Umfänge der zwei Substrate 1 und 4 in der Atmosphäre von Heliumgasen unter einem bestimmten Druck mit einem Laserstrahl und anschließend durch Erhitzen in Heliumgas-Atmosphäre unter einem vorbestimmten Druck bei etwa 1000°C durchgeführt, so daß der BPSG-Film 8 schmilzt und dadurch das erste und das zweite Siliziumeinkristallsubstrat 1 und 4 verbindet. Dann werden die Heliumgase unter einem vorbestimmten Druck in der Ausnehmung 3, die als Bezugsdruckkammer wirkt, eingeschlossen, wie in Fig. 5 gezeigt. Gemäß der Modifizierung von Fig. 5 werden die Heliumgase in den Wafer-Zustand eingeschlossen und das Verbinden wird in der heißen Atmosphäre von Heliumgasen bei 300 bis 1200°C ausgeführt, so daß Wasserdämpfe oder andere Gase wirksam entfernt werden können zur Erzeugung von ausgezeichneten, stabilisierten Charakteristiken. Ferner kann der Halbleiter-Druckfühler in der Massenproduktion mit einer identischen Genauigkeit und bei niedrigen Kosten hergestellt werden. Da die Heliumgase in der Ausnehmung 3 eingeschlossen sind, kann die Gasdichtigkeit der Ausnehmung 3 mittels einer in Fig. 6 gezeigten Vorrichtung (oder einem Heliumleckdetektor) getestet werden. Bei dieser Vorrichtung wird eine Vakuumpumpe 23 mit einer Kammer 22 durch eine Leitung über ein erstes Ventil (z. B. ein Dreiwege-Ventil) V1 und ein zweites Ventil V2 verbunden, ein Massenspektrometer 24 wird mit einer Leitung durch ein drittes Ventil V3 von einer Stelle zwischen dem ersten Ventil V1 und dem zweiten Ventil V2 verbunden. Eine weitere Vakuumpumpe 25 wird durch das Massenspektrometer 24 mit einer Leitung verbunden. Ferner ist die eine Seite des ersten Ventils V1 mit der Atmosphäre belüftet und die drei Ventile V1, V2 und V3 sind im Verlauf ihrer Leitungen mit einem Druckmesser 26 ausgerüstet.

Für die Tests wird ein Wafer 27 des Halbleiter-Druckfühlers, das wie vorstehend beschrieben hergestellt wurde, in die Kammer 22 gebracht. Zu diesem Zeitpunkt wird das erste Ventil V1 zur Atmosphärenseite geschaltet und das dritte Ventil V3 wird geschlossen. Nachdem der Wafer 27 eingebracht worden ist, wird das erste Ventil V1 zur Vakuumseite hin geschaltet und das zweite Ventil V2 wird geöffnet, um den Druck der Kammer 22 mittels der Vakuumpumpe 23 auf einen vorbestimmten Wert zu erniedrigen; anschließend wird das zweite Ventil V2 geschlossen. Von dem Zustand, bei dem der Leitungsraum zwischen dem dritten Ventil V3 und der Vakuumpumpe 25 auf einen Druck gleich oder niedriger als demjenigen in der Kammer 22 mittels der Vakuumpumpe 25 gebracht wird, wird andererseits das dritte Ventil V3 geöffnet, um in der Kammer 22 befindliche Gase in das Massenspektrometer 24 einzuleiten.

Wenn zu diesem Zeitpunkt mittels des Massenspektrometers 24 kann Helium festgestellt wird, kommt man zu dem Urteil, daß die Gasdichtigkeit der Bezugsdruckkammer des Wafers 27 gehalten wird, so daß der Wafer 27 gut ist. Wenn andererseits Helium nachgewiesen wird, kommt man zu dem Schluß, daß eine Bezugsdruckkammer eines Waferchips 27 nicht druckdicht ist und der Wafer 27 wird als nicht gut qualifiziert.

Danach wird das dritte Ventil V3 geschlossen, während das erste Ventil V1 zur Atmosphärenseite geschaltet wird, und der Wafer 27 wird dann aus der Kammer 22 entnommen. Wenn man feststellen möchte, welcher Chip des Wafers 27 defekt ist, nachdem das Ergebnis des obengenannten Tests "schlecht" lautet, wird der schlechte Wafer so oft wie möglich erneut in der Hälfte getestet, um den schlechten Bereich des Chips zu isolieren.

So kann die Gasdichtigkeit der Bezugsdruckkammer leicht on-line mittels des Heliumleckdetektors getestet werden, so daß sie garantiert werden kann. Nebenbei bemerkt werden die Gase, die in der Ausnehmung 3 eingeschlossen werden sollen, nicht auf Helium begrenzt, sondern können irgendein Inertgas, zum Beispiel Argon sein, das die einzelnen Halbleitermaterialien nicht schädlich beeinflusst.

Verschiedene Modifizierungen der ersten Ausführungsform wurden oben mit Bezug auf die anliegenden Figuren beschrieben und die Gestalt der piezoresistiven Schicht 6 wird bei der ersten Ausführungsform im voraus gebildet. Es kann jedoch eine vorbestimmte Gestalt auch gebildet werden, nachdem eine Verunreinigung vom P-Typ einer vorbestimmten Dicke überall verteilt wurde von der Hauptoberfläche in dem zweiten Siliziumeinkristallsubstrat 4 und nachdem das zweite Siliziumeinkristallsubstrat 4 geätzt wurde. Weiterhin wird für das Ätzen des zweiten Siliziumeinkristallsubstrat 4 nicht notwendigerweise die anisotrope Ätzflüssigkeit (die kurz mit "E.P.W.-Flüssigkeit" bezeichnet wird) und die im voraus hauptsächlich aus Äthylendiamin, Pyrocatechin und Wasser zusammengesetzt wird, verwendet. Bei einer alternativen Ausführungsform kann zum Beispiel eine Ätzflüssigkeit wie zum Beispiel Kaliumhydroxyd (KOH), die eine höhere Ätzrate als die anisotrope Ätzflüssigkeit besitzt, zum Ätzen des Substrats auf eine vorbestimmte Dicke verwendet werden, oder dieses Substrat kann auf eine vorbestimmte Dicke geläppt werden und das Substrat wird dann in der E.P.W.-Flüssigkeit geätzt und läßt die piezoresistive Schicht 6 zurück.

Zweite Ausführungsform

Ein Halbleiter-Druckfühler gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird im folgenden mit Bezug auf Fig. 7(a) bis 7(c) beschrieben. Den Fig. 1a und 1b der ersten Ausführungsform entsprechende Figuren für diese Ausführungsform sind fortgelassen, da die Anforderungsschritte bei dieser Ausführungsform dieselben sind wie die in den Fig. 1a und 1b gezeigten für die erste Ausführungsform. Bezugsziffer 4a bezeichnet ein zweites Siliziumeinkristallsubstrat. Ein Siliziumoxidfilm 28 wird über der Hauptoberfläche des zweiten Substrats 4a gebildet. Eine sogenannte "SOI-Schicht" 29 wird durch Umkristallisieren der polykristallinen Siliziumschicht, die über dem Siliziumoxidfilm 28 gebildet ist, erzeugt. Wie man besser in Fig. 7(b) sehen kann, wird eine piezoresistive Schicht 29a durch Dotieren eines vorbestimmten Bereichs in der SOI-Schicht 29 gebildet und die SOI-Schicht mit Ausnahme der piezoresistiven Schicht 29a wird fortgeätzt zur Bildung einer vorbestimmten Gestalt. Weiterhin wird ein Siliziumoxidfilm 30 mit einer Dicke von 1000 bis 2000 Angström um die piezoresistive Schicht 29a herum durch thermische Oxidation gebildet. Ein Plasmamantelfilm 31 mit einer Dicke von 1 bis 2 Mikrometer und einer im allgemeinen glatten Oberfläche wird über dem Siliziumoxidfilm 30 und dem Siliziumoxidfilm 28



nach dem Verfahren des Rückätzens gebildet. Anschließend wird ein BPSG-Film 32 über dem Plasmanitridfilm 31 gebildet.

Wie weiterhin in Fig. 7(c) dargestellt wird, wird das zweite Siliziumeinkristallsubstrat 4a in gleicher Weise mit dem ersten Siliziumeinkristallsubstrat 1, das wie bei der vorangegangenen ersten Ausführungsform gebildet wird, verbunden und wird bis auf den Siliziumoxidfilm 23 weggeätzt; so wird ein größerer Teil des Halbleiter-Druckfühlers aufgebaut. In der vorliegenden Ausführungsform ist das Diaphragma aus vier Schichten zusammengesetzt, d. h. dem BPSG-Film 32, dem Plasmanitridfilm 31, dem Siliziumoxidfilm 23 und dem Siliziumoxidfilm 30, und die piezoresistive Schicht 29a wird in diesem Diaphragma gebildet. Gemäß dieser Ausführungsform kann die Dicke des Diaphragmas willkürlich durch Kontrollieren der Dicke des Plasmanitridfilms 31 festgelegt werden.

Als nächstes wird eine Modifizierung dieser zweiten Ausführungsform beschrieben. Die vorgenannte piezoresistive Schicht 29a ist in der SOI-Schicht 29; wenn jedoch das zweite Siliziumeinkristallsubstrat 4a in seiner vorbestimmten Tiefe durch Sauerstoffionenimplantation mit einer Dosis von 1×10^{18} dotiert und dann erhitzt wird, kann eine Einkristallschicht über der isolierenden Schicht gebildet werden, die durch Reaktion zwischen Sauerstoff und Silizium erhalten wird und kann zur Bildung der piezoresistiven Schicht verwendet werden.

Dritte Ausführungsform

Ein Halbleiter-Druckfühler gemäß einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird im folgenden mit Bezug auf Fig. 8(a) bis 8(c) beschrieben. Die Unterschiede zwischen der dritten Ausführungsform und der ersten Ausführungsform werden im folgenden erklärt.

Bezugsziffer 1 bezeichnet das erste Siliziumeinkristallsubstrat. Ein Siliziumoxidfilm 2 wird über der Hauptfläche des ersten Siliziumeinkristallsubstrats 1 gebildet. Eine SOI-Schicht 33 wird durch Umkristallisieren der polykristallinen Siliziumschicht, die über dem Siliziumoxidfilm 2 gebildet wurde, hergestellt. Die SOI-Schicht 33 ist teilweise bis auf den Siliziumoxidfilm 2 weggeätzt unter Bildung der Ausnehmung 3, indem man als Maske einen Siliziumoxidfilm 34 verwendet, der über einen vorbestimmten Bereich über der SOI-Schicht 33 gebildet ist. Wie bei der vorstehend genannten ersten Ausführungsform wird weiterhin das zweite Siliziumeinkristallsubstrat selektiv von der anderen Hauptflächen Seite fortgeätzt zur Bildung des BPSG-Films 8, des Siliziumnitridfilms 7 und der piezoresistiven Schicht 6 über dem Siliziumoxidfilm 34 oberhalb und um die Ausnehmung 8 herum.

Die in diesem Zustand erzeugte Struktur kann auch als der Fühler verwendet werden. Wie jedoch in Fig. 8(b) gezeigt, kann der Halbleiter-Druckfühler auch als ein absoluter Druckfühler verwendet werden, wenn das erste Siliziumeinkristallsubstrat 1 von seiner anderen Hauptoberfläche bis zur Ausnehmung 3 mit einem Ätzmittel, wie KOH, zur Bildung einer Ausnehmung 33 weggeätzt werden. Wenn ein Siliziumoxidfilm 36 zwischen den Ausnehmungen 3 und 35 entfernt wird, wie in Fig. 8(c) dargestellt wird, kann der Druckfühler ein relativer Druckfühler sein. Bei dieser Ausführungsform ist die Platte aus dem ersten Siliziumeinkristallsubstrat 1, dem Siliziumoxidfilm 2, der SOI-Schicht 33 und dem

Siliziumoxidfilm 34 zusammengesetzt.

Vierte Ausführungsform

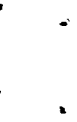
Ein Halbleiter-Druckfühler gemäß einer vierten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird mit Bezug auf Fig. 9(a) bis 9(e) beschrieben. In Fig. 9(a) wird das erste Siliziumeinkristallsubstrat 1, das als die Platte dient, wie bei der ersten Ausführungsform mit der Ausnehmung 3 und von dem dann der als Maske verwendete Siliziumoxidfilm entfernt wurde, gebildet. In Fig. 9(b) wird das zweite Siliziumeinkristallsubstrat 4 mit dem Siliziumoxidfilm 5 vollständig über seine Hauptoberfläche gebildet. Beiläufig bemerkt ist es erwünscht, bewegliche Ionen, wie zum Beispiel Na oder Li zu implantieren, so daß das unten beschriebene anodische Verbinden durchgeführt werden kann. Wie weiterhin in Fig. 9(c) gezeigt wird, werden die Hauptoberfläche des ersten Siliziumeinkristallsubstrats 1 und der Siliziumoxidfilm 5 auf dem zweiten Siliziumeinkristallsubstrat 4 in Übereinstimmung gebracht und dann anodisch verbunden. Wie in Fig. 9(d) dargestellt wird, wird dann das zweite Siliziumeinkristallsubstrat 4 mit einem Ätzmittel, wie zum Beispiel KOH weggeätzt; es bleibt der Siliziumoxidfilm 5 als Diaphragma auf dem ersten Siliziumeinkristallsubstrat 1 zurück. Wie in Fig. 9(e) dargestellt wird, wird die piezoresistive Schicht 6 entweder aus einer polykristallinen Siliziumschicht oder einer rekristallisierten Siliziumschicht in einem vorbestimmten Bereich oberhalb des Siliziumoxidfilms 5 unter Verwendung bekannter Halbleiterverarbeitungstechniken gebildet und so ein größerer Teil des Halbleiter-Druckfühlers aufgebaut.

Fünfte Ausführungsform

Ein Halbleiter-Druckfühler gemäß einer fünften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird mit Bezug auf Fig. 10(a) bis 10(d) beschrieben. In Fig. 10(a) bezeichnet Bezugsziffer 1 das erste Siliziumeinkristallsubstrat wie in den vorangegangenen vier Ausführungsformen und Bezugsziffer 3 bezeichnet die Ausnehmung. In Fig. 10(b) bezeichnet Bezugsziffer 4 das zweite Siliziumeinkristallsubstrat und Bezugsziffer 5 bezeichnet den Siliziumoxidfilm. Der Unterschied zur vierten Ausführungsform besteht darin, daß der Siliziumoxidfilm 5 in diesem Zustand darüber im voraus gebildet wird mit der piezoresistiven Schicht 6, die aus der polykristallinen Siliziumschicht oder der umkristallisierten Siliziumschicht gebildet ist. Diese piezoresistive Schicht 6 ist so angeordnet, wie in Fig. 10(c) dargestellt, daß sie in die Ausnehmung 3 eingreift, die als die Vergleichsdruckkammer wirkt, wenn die Hauptoberfläche des ersten Siliziumeinkristallsubstrats 1 und der Siliziumoxidfilm 5 anodisch verbunden werden. Wie weiterhin in Fig. 10(d) gezeigt wird, wird das zweite Siliziumeinkristallsubstrat 4 selektiv weggeätzt und läßt den Siliziumoxidfilm 5 zurück, der als Diaphragma wirkt; so wird der größere Teil des Halbleiter-Druckfühlers aufgebaut, der keinen Buckel auf dem Diaphragma besitzt.

Sechste Ausführungsform

Ein Halbleiter-Druckfühler gemäß einer sechsten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird im folgenden mit Bezug auf Fig. 11(a) bis 11(e) beschrieben. In Fig. 11(a) bezeichnet Bezugsziffer 1 das erste Siliziumeinkristallsubstrat, in dem die Ausnehmung bei einer



später beschriebenen Stufe gemäß der vorliegenden Erfindung gebildet wird. Fig. 11(b) und 11(c) zeigen Bildungsschritte, die ähnlich denen in der vorstehenden ersten Ausführungsform mit Bezug auf die Fig. 1(c) und 1(d) sind. Bezugsziffer 4 bezeichnet das zweite Siliziumeinkristallsubstrat; Bezugsziffer 5 den Siliziumoxidfilm, der als die Maske fungiert; Bezugsziffer 6 die piezoresistive Schicht und Bezugsziffer 7 den Siliziumnitridfilm. Beiläufig erwähnt wird bei der vorliegenden Ausführungsform der verbindende BPSG-Film nicht gebildet, jedoch wird das Siliziumsubstrat 1 anodisch auf direkte Weise verbunden, wie in Fig. 11(d) dargestellt.

Wie in Fig. 11(e) weiterhin gezeigt wird, werden der Siliziumnitridfilm 7 und die piezoresistive Schicht 6 auf dem ersten Siliziumeinkristallsubstrat 1 durch Fortätzen des zweiten Siliziumeinkristallsubstrats 4 gebildet. Danach wird die piezoresistive Schicht 6 in dem umliegenden Bereich thermisch oxidiert zur Bildung eines Siliziumoxidfilms 37 und der Oberflächenschutzfilm 9 usw. werden im folgenden über dem Siliziumoxidfilm 37 und dem Siliziumnitridfilm 7 gebildet. Dann wird ein Bereich, der als das Diaphragma wirkt, durch Wegätzen des ersten Siliziumeinkristallsubstrats 1 von der anderen Hauptoberfläche unter Bildung einer Ausnehmung 38 gebildet.

Siebte Ausführungsform

Ein Halbleiter-Druckfühler gemäß einer siebten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird im folgenden mit Bezug auf Fig. 12(a) bis 12(g) beschrieben. In den Fig. 12(a) und 12(b) werden das erste Siliziumeinkristallsubstrat 1, der Siliziumoxidfilm 2 und die Ausnehmung 3 nach einem ähnlichen Verfahren gebildet wie dem, das in der vorstehenden ersten Ausführungsform mit Bezug auf Fig. 1(a) und 1(b) beschrieben ist. Bei dieser siebten Ausführungsform wird weiterhin die Ausnehmung 3 mit einem durchgehenden Loch 39 mit einem Durchmesser von 20 bis 50 Mikrometer mit einem Laserstrahl gebildet. Ausnehmung 3 besitzt einen Durchmesser von 40 bis 100 Mikrometer, und der Durchmesser des durchgehenden Loches 39 wird auf eine geringere Größe als derjenigen der Ausnehmung 3 gesteuert.

Andererseits werden in den Fig. 12(c) und 12(d) das zweite Siliziumeinkristallsubstrat 4, der Siliziumoxidfilm 5, die piezoresistive Schicht 6, der Siliziumnitridfilm 7 und der BPSG-Film 8 nach einer ähnlichen Methode, wie sie bei der vorstehenden ersten Ausführungsform mit Bezug auf Fig. 1(c) und 1(d) beschrieben wird, hergestellt. Wie weiterhin in den Fig. 12(e) und 12(f) dargestellt wird, wird der ersten Ausführungsform gefolgt, indem das erste und zweite Siliziumeinkristallsubstrat 1 und 2 verbunden werden, indem selektiv das zweite Siliziumeinkristallsubstrat 4 weggeätzt wird und anschließend der Schutzfilm 9 und die Leitungsschicht 10 gebildet werden und so der Halbleiter-Druckfühler aufgebaut wird.

Der relative Druckfühler der in Fig. 3 dargestellten Ausführungsform hat eine sich ausweitende (divergierende) Belüftungsöffnung 12, da diese Öffnung 12 durch Ätzen gebildet wird. Jedoch können bei dieser siebten Ausführungsform die Wände der durchgehenden Öffnung linear sein, um die Größe des Fühlers zu reduzieren. Weiterhin kann diese siebte Ausführungsform so konstruiert sein, daß die Ausnehmung 3 einen Durchmesser von 40 bis 100 Mikrometer und eine Tiefe von 10 bis 40 Mikrometer besitzt, so daß das Diaphragma eine Dicke von 1 bis 5 Mikrometer aufweist, so daß die

durchgehende Öffnung einen Durchmesser von 20 bis 50 Mikrometer besitzt und so daß das erste Siliziumeinkristallsubstrat eine Dicke von 400 bis 500 Mikrometer hat. Als Ergebnis besitzt der Diaphragmabereich eine ausreichende vertikale Abmessung im Vergleich zur horizontalen Abmessung zur Verringerung des negativen Einflusses aufgrund der Differenz in dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten, so daß ein thermischer Schockabsorber, wie zum Beispiel ein Gehäuse, das nach dem Stand der Technik unerlässlich ist, entbehrlich werden kann. Dies senkt folglich die Herstellungskosten und die Fläche der verbundenen Bereiche, so daß die Zuverlässigkeit erhöht werden kann.

Bei dieser siebten Ausführungsform wird die durchgehende Öffnung 39 durch ein einzelnes vertikales Loch beispielhaft dargestellt, jedoch ist die vorliegende Erfindung nicht darauf begrenzt. Zum Beispiel kann eine durchgehende Öffnung 39a in Schrägrichtung gebildet werden, wie in Fig. 13(a) gezeigt wird, oder eine durchgehende Öffnung 39b kann auch mit verschiedenen Winkeln von den oberen und unteren Flächen des Wafers gebildet werden, wie in Fig. 13(b) dargestellt wird. Bei Verwendung von schrägen, durchgehenden Öffnungen kann verhindert werden, daß abrupt schwankender Druck und Teilchen direkt auf die Diaphragmaoberfläche auftreffen, selbst wenn sie in die durchgehenden Öffnungen 39a und 39b gelangen. Andererseits zeigt Fig. 13(c) ein Beispiel, bei dem eine Mehrzahl von durchgehenden Öffnungen 39c gebildet wird. Dieses Beispiel ist hochwirksam zur Reinigung des Diaphragmas oder bei der Verhinderung, daß die durchgehenden Öffnungen 39c mit Staub oder ähnlichem verstopft werden.

Wie weiterhin in den Fig. 13(d) und 13(e) gezeigt wird, wird eine durchgehende Öffnung 39a auf halbem Wege des Wafers gebildet, wie in Fig. 13(d) gezeigt, so daß ein übrigbleibender Teil 40 gebildet wird. Dann können die Ausnehmungen 3 und die durchgehende Öffnung 39d ohne jede Rückstände von Staub, Verunreinigungen, Reinigungsflüssigkeit usw. im Verlauf der den Wafer bildenden Stufe saubergehalten werden. In dem Endschritt der den Wafer bildenden Stufe (d. h. nachdem eine piezoresistive Schicht, eine umfängliche Schaltung, eine Leitungsschicht, eine Passivierungsschicht usw. gebildet wurde, die nicht dargestellt werden) wird die durchgehende Öffnung 39d schräg von der Rückseite durch Bestrahlung mit Laserstrahlen L_b gebildet. Durch diese schräge Bestrahlung bleibt die Oberfläche des Diaphragmas von der direkten Erhitzung durch die Laserstrahlen L_b abgewandt, so daß sie nicht zerstört wird. Beiläufig erwähnt ist es nur natürlich, daß die Stufen der Fig. 13(a) bis 13(e) in Kombination angewandt werden können.

Bei dieser siebten Ausführungsform wird die durchgehende Öffnung - 9 mit den Laserstrahlen gebildet. Wie jedoch in Fig. 14(a) gezeigt wird, kann bei Bildung der Gestalt der durchgehenden Öffnung in der in Fig. 14(b) dargestellten Orientierung unter Verwendung der Siliziumkristallebene (110) zur Durchführung einer anisotropen Ätzung mit einer Lösung von KOH oder ähnlichem, die durchgehende Öffnung 39 in dem ersten Siliziumeinkristallsubstrat 1 gebildet werden, wobei man die Kristallebene (111) als eine Seitenwand verwendet. Durch Neigung der Orientierung der Kristallebene (110) kann weiterhin die durchgehende Öffnung in einer schrägen Richtung gebildet werden.



.

Ein Halbleiter-Druckfühler gemäß einer achten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird mit Bezug auf Fig. 15(a) und 15(b) beschrieben. In den Fig. 15(a) und 15(b) sind das erste Siliziumeinkristallsubstrat 1, der Siliziumoxidfilm 2 und die Ausnehmung 3 nach einer ähnlichen Methode gebildet, wie bei der ersten Ausführungsform mit Bezug auf Fig. 1(a) und 1(b) beschrieben wird.

Wie andererseits in Fig. 15(c) gezeigt wird, wird ein Siliziumoxidfilm 41 über der Hauptoberfläche des zweiten Siliziumeinkristallsubstrats 4 gebildet und ein BPSG-Film 42 wird über dem Siliziumoxidfilm 41 gebildet. Wie weiter in Fig. 15(d) gezeigt wird, sind die ersten und zweiten Siliziumeinkristallsubstrate 1 und 4 verbunden. Beiläufig erwähnt können diese Verbindungsverfahren ebenso an das in der vorstehenden ersten Ausführungsform beschriebene angepaßt werden. Zusätzlich werden jedoch das erste und zweite Siliziumeinkristallsubstrat 1 und 4, die direkt aufeinander angebracht sind, das Siliziumsubstrat und der Siliziumoxidfilm, die aufeinander mitangebracht sind, wobei der isolierende Film (zum Beispiel der Siliziumoxidfilm) an irgendeiner Substratseite entfernt sein kann (oder nicht gebildet sein kann), oder der Siliziumoxidfilm 41 und der Siliziumoxidfilm 2, die aufeinander nicht durch den BPSG-Film 42 angebracht sind, in einem Ofen bei 1000°C erhitzt, so daß sie verbunden werden können.

Wie weiterhin in Fig. 15(e) gezeigt wird, wird die andere Hauptoberfläche (oder Rückseite) des ersten Siliziumeinkristallsubstrats 1 mit Wachs oder ähnlichem bedeckt (nicht dargestellt) und das zweite Siliziumeinkristallsubstrat 4 wird von seiner anderen Hauptoberfläche (oder Rückseite) (bis auf 5 bis 40 Mikrometer mit einer anisotropen Ätzflüssigkeit aus Alkali, die hauptsächlich aus Kaliumhydroxyd (KOH) zusammengesetzt ist, weggeätzt; so wird eine Siliziumeinkristallschicht 43 gebildet.

Hier in dieser achten Ausführungsform wird das zweite Siliziumeinkristallsubstrat 4 mit dem vorgenannten Alkaliätzmittel abgeätzt. In diesem Fall ist die Ätzgeschwindigkeit schwierig zu steuern, so daß die Dicke der Siliziumeinkristallschicht 7 möglicherweise streuen kann. Die folgenden Techniken können zur Erleichterung der Steuerung angewandt werden:

1. Ein zweischichtiges Substrat, das durch epitaxiales Wachstum einer N⁻-gering dotierten epitaxialen Schicht (die im folgenden als N⁻-epitaxiale Schicht bezeichnet wird) gebildet ist, wird mit einem höheren spezifischen Widerstand über einem N⁺-hoch dotierten Substrat (das im folgenden als das "N⁺-Substrat" bezeichnet wird) mit einem niedrigen spezifischen Widerstand anstelle des zweiten Siliziumeinkristallsubstrats 4 verwendet und zum Beispiel elektrolytisch in Flußsäure geätzt. Dann wird das N⁺-Substrat geätzt, während die N⁻-epitaxiale Schicht nur wenig geätzt wird und so wie sie ist, zurückbleibt. Die Dicke des Diaphragmas wird in Abhängigkeit von der Dicke der N⁻-epitaxialen Schicht bestimmt, so daß das Ätzen automatisch unterbrochen wird. Nach diesem Verfahren kann weiterhin die Dicke der N⁻-epitaxialen Schicht willkürlich zusammen mit der Dicke des Diaphragmas festgelegt werden.
2. Selbst bei Verwendung des Substrats, in dem die epitaxiale Schicht von N-Typ über dem Silizium-

substrat vom P-Typ abgelagert ist, wird die epitaxiale Schicht vom N-Typ nicht geätzt, sondern bleibt zurück, wenn zum Beispiel elektrolytisch in Hydrazin (NH₂NH₂) geätzt wird. Als Ergebnis kann die Dicke des Diaphragmas willkürlich festgesetzt werden, um das Ätzen automatisch zu unterbrechen.

Wie in Fig. 15(f) gezeigt wird, wird ein Siliziumoxidfilm 44 an ausgewählten Stellen über der geätzten Seite des zweiten Siliziumeinkristallsubstrats 4 gebildet und als eine Maske zum Zerstören einer Verunreinigung vom P-Typ, wie zum Beispiel Bor (B) mit einer hohen Dosis zur Bildung einer piezoresistiven Schicht 45 in der Richtung < 110 > verwendet. Wie in Fig. 15(g) gezeigt, werden nach Entfernen des Siliziumoxidfilms 44 ein Oberflächenschutzfilm 46 und eine Leitungsschicht 47 aus Aluminium gebildet zur Erzeugung des Halbleiter-Druckfühlers. Nebenbei bemerkt, kann eine Signalverarbeitungsschaltung für den Halbleiter-Druckfühler in der Siliziumeinkristallschicht 43 nach der bekannten Halbleiterherstellungsmethode gestaltet werden. Bei der vorliegenden Ausführungsform setzt sich das Diaphragma aus dem Siliziumoxidfilm 41, dem BPSG-Film 42 und der Siliziumeinkristallschicht 43 zusammen und die piezoresistive Schicht 45 ist in diesem Diaphragma gebildet.

Neunte Ausführungsform

Ein Halbleiter-Druckfühler gemäß einer neunten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird mit Bezug auf Fig. 16(a) bis 16(g) beschrieben. Die in Fig. 16(a) bis 16(e) gezeigten Stufen sind ähnlich wie die bei der vorstehend genannten ersten Ausführungsform mit Bezug auf die Fig. 1(a) bis 1(e) und dieselben Komponenten werden durch gemeinsame Bezugsziffern bezeichnet, so daß ihre Erläuterung fortgelassen wird.

Wie in Fig. 16(f) gezeigt wird, ist die andere Hauptoberfläche (oder Rückseite) des ersten Siliziumeinkristallsubstrats 1 mit Wachs oder ähnlichem beschichtet (nicht dargestellt) und das zweite Siliziumeinkristallsubstrat 4 ist von seiner anderen Oberfläche (oder Rückseite) mit einer anisotropen Ätzflüssigkeit, die hauptsächlich aus Kaliumhydroxyd (KOH) zusammengesetzt ist, weggeätzt. In diesem Fall wird das Ätzen im Augenblick unterbrochen, wenn die piezoresistive Schicht 6 von der Ätzfläche zur Außenseite hin freigelegt ist. Die Ätzmethode kann ähnlich derjenigen der ersten Ausführungsform sein. So werden eine Einkristall-Piezoresistivschicht 6 und eine Siliziumeinkristallschicht 48 über dem Siliziumnitridfilm 7 gebildet, was einen isolierenden Film ergibt, der als Diaphragma wirkt. Wie in Fig. 16(g) gezeigt, werden ein Oberflächenfilm 49 und eine Leitungsschicht 50 aus Aluminium oder ähnlichem zur Erzeugung des Halbleiter-Druckfühlers gebildet. Bei dieser Ausführungsform ist das Diaphragma aus dem Siliziumnitridfilm 7, dem BPSG-Film 8 und der Siliziumeinkristallschicht 48 zusammengesetzt und die piezoresistive Schicht 6 wird in diesem Diaphragma gebildet.

Zehnte Ausführungsform

Ein Halbleiter-Druckfühler gemäß einer zehnten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird mit Bezug auf Fig. 17(a) bis 17(f) beschrieben. In Fig. 17(a) wird der Siliziumoxidfilm 2 über dem ersten Siliziumeinkristallsubstrat 1 nach der CVD- oder thermischen Oxi-



dationsmethode gebildet. Dann wird vom Siliziumoxidfilm 2 mittels Fotolithographie und Ätztechnik ein vorbestimmter Bereich weggeätzt und bildet eine Öffnung 2a als Ausnehmung. Nebenbei bemerkt, kann ein Siliziumnitridfilm, oder polykristallines Silizium zusätzlich zu dem Siliziumoxidfilm verwendet werden.

Wie andererseits in den Fig. 17(b) und 17(c) gezeigt wird, werden die piezoresistive Schicht 6, der Siliziumnitridfilm 7 und der BPSG-Film 8 nacheinander über dem zweiten Siliziumeinkristallsubstrat 4 gebildet. Wie in Fig. 17(d) weiterhin gezeigt wird, ist der über dem zweiten Siliziumeinkristallsubstrat 4 gebildete BPSG-Film 8 durch Ausrichtung mittels zum Beispiel Infrarotmikroskops so angeordnet, daß die oberen und unteren Muster je nach vorheriger Einstellung über der Hauptoberfläche des ersten Siliziumeinkristallsubstrats 1 übereinstimmen, nämlich daß die piezoresistive Schicht 6 so angeordnet ist, daß sie mit der Öffnung 2a registerhaltig ist. Dann werden das erste und das zweite Siliziumeinkristallsubstrat 1 und 4 zur Bildung einer Vergleichsdruckkammer 51 verbunden.

Wie in Fig. 17(e) weiterhin gezeigt wird, wird das zweite Siliziumeinkristallsubstrat 4 selektiv von seiner anderen Hauptoberfläche (oder Rückseite) zum Beispiel mit der E.P.W.-Flüssigkeit (Ätzflüssigkeit) selektiv geätzt zur Bildung der piezoresistiven Einkristallschicht 6 über dem Siliziumnitridfilm 7 und der BPSG-Film 8 dient als Diaphragma. Wie weiterhin in Fig. 17(f) gezeigt wird, werden der Oberflächenschutzfilm 9 und die Leitungsschicht 10 aus Aluminium oder ähnlichem zur Herstellung des Halbleiter-Druckfühlers gebildet.

Wenn bei dieser zehnten Ausführungsform die Dicke des Siliziumoxidfilms 2 auf einen vorbestimmten Wert gesteuert wird, kommt das Diaphragma in Kontakt mit der Hauptoberfläche des ersten Siliziumeinkristallsubstrats 1, selbst wenn der zu messende Druck übermäßig ist, so daß ein übermäßiger Ausschlag vermieden werden kann und so ihre eigene Zerstörung verhindert werden kann. Die Platte setzt sich zusammen aus dem ersten Siliziumeinkristallsubstrat 1 und dem Siliziumoxidfilm 2.

Elfte Ausführungsform

Ein Halbleiter-Druckfühler gemäß einer elften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird mit Bezug auf die Fig. 18(a) bis 18(d) beschrieben. Hier werden Bauteile, die gleich sind wie bei der vorstehend genannten zehnten Ausführungsform, mit den gleichen Bezugsziffern bezeichnet. Wie in Fig. 18(a) gezeigt wird, wird an erster Stelle der Siliziumoxidfilm 2 mit der Öffnung 2a in der Hauptoberfläche des ersten Siliziumeinkristallsubstrats 1 während eines Schrittes gebildet, der ähnlich demjenigen der zehnten Ausführungsform mit Bezug auf Fig. 17(a) ist.

Wie in Fig. 18(b) gezeigt wird, werden die Hauptoberfläche des ersten Siliziumeinkristallsubstrats 1 und die Hauptoberfläche des zweiten Siliziumeinkristallsubstrats 4 je nach vorheriger Einstellung übereinander gelegt durch den Siliziumoxidfilm 2 und in einen Vakuumofen bei etwa 1000°C gebracht, so daß der Siliziumoxidfilm 2 und das zweite Siliziumeinkristallsubstrat 4 direkt verbunden werden.

Wie in Fig. 18(c) gezeigt wird, wird das zweite Siliziumeinkristallsubstrat 4 von seiner Hauptoberfläche mit einer Ätzflüssigkeit wie zum Beispiel Kaliumhydroxid (KOH) fortgeätzt unter Zurücklassung eines Bereichs als Diaphragma mit einer vorbestimmten Dicke. An-

schließend wird der Bereich des zweiten Siliziumeinkristallsubstrats 4, der der Vergleichsdruckkammer 51 entspricht, mit einer Verunreinigung vom P-Typ, wie zum Beispiel Bor (B), durch Implantation (oder Diffusion) hoch dotiert und bildet so eine piezoresistive Schicht 52. Wie in Fig. 18(d) gezeigt wird, werden weiterhin ein Schutzfilm 53 und eine Leitungsschicht 54 aus Aluminium oder ähnlichem zur Konstruktion des Halbleiter-Druckfühlers gebildet.

Gemäß dieser elften Ausführungsform wird die piezoresistive Schicht 52 gebildet, nachdem die beiden Substrate 1 und 4 verbunden worden sind. Nachdem die piezoresistive Schicht 52 in dem zweiten Siliziumeinkristallsubstrat 4 gebildet wurde, wie in der vorstehenden zehnten Ausführungsform, kann die Verbindung vervollständigt werden, gefolgt von dem Ätzen des zweiten Siliziumeinkristallsubstrats 4. Wenn in diesem Fall das Ätzen weitgehend durchgeführt wird, da die Oberfläche der piezoresistiven Schicht 52 vollständig freiliegt, kann die PN-Verbindungsfläche zur Verminderung des Verluststroms verringert werden.

Zwölfte Ausführungsform

Ein Halbleiter-Druckfühler gemäß einer zwölften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird mit Bezug auf Fig. 19(a) bis 19(e) beschrieben. Hier werden Bauteile, die denen der zehnten Ausführungsform gleichen, mit denselben Bezugsziffern bezeichnet. Wie in Fig. 19(a) gezeigt wird, wird zuerst der Siliziumoxidfilm 2 mit der Öffnung 2a als der Ausnehmung über der Hauptoberfläche des ersten Siliziumeinkristallsubstrats 1 gebildet, in der Stufe, die ähnlich der in der zehnten Ausführungsform mit Bezug auf die Fig. 17(a) beschrieben ist.

Wie in Fig. 19(b) gezeigt wird, wird weiterhin das zweite Siliziumeinkristallsubstrat 4 von seiner Hauptoberfläche mit einer Verunreinigung vom P-Typ, wie zum Beispiel Bor (B), durch Ionenimplantation (oder Diffusion) dotiert; so wird eine piezoresistive Schicht 55 gebildet. Die piezoresistive Schicht 55 wird so gebildet, daß sie eine größere Fläche als die Öffnung 2a besitzt.

Dann werden die Hauptoberfläche des ersten Siliziumeinkristallsubstrats 1 und die Hauptoberfläche des zweiten Siliziumeinkristallsubstrats 4 durch den Siliziumoxidfilm 2 verbunden. Das zweite Siliziumeinkristallsubstrat 4 wird von seiner Hauptoberfläche mit einer Ätzflüssigkeit wie derjenigen der vorstehenden zehnten Ausführungsform geätzt. Wie man in Fig. 19(c) ersieht, ist die piezoresistive Schicht 55 so angeordnet, daß sie die Öffnung 2a bedeckt und so die Bezugsdruckkammer 51 bildet, so daß die piezoresistive Schicht 55 als Diaphragma wirkt. Wie in Fig. 19(d) gezeigt wird, werden weiterhin ein Oberflächenschutzfilm 56 und eine Leitungsschicht 57 aus Aluminium oder ähnlichem gebildet; so wird der Halbleiter-Druckfühler aufgebaut. Der Halbleiter-Druckfühler gemäß der vorliegenden Ausführungsform wird mit Leitungsschichten 57a, 57b, 57c und 57d in vier Positionen der piezoresistiven Schicht 55 gebildet, wie in Fig. 19(e) gezeigt wird. Der zu messende Druck kann dadurch festgestellt werden, daß man eine Spannung zwischen den Leitungsschichten 57a und 57c anlegt und die Spannung zwischen den Leitungsschichten 57b und 57d feststellt.

Die vorliegende Erfindung wurde in Verbindung mit dem, was gegenwärtig als in der Praxis am meisten anwendbare und bevorzugte Ausführungsform betrachtet wird, beschrieben; es ist jedoch zu betonen, daß die



Erfindung nicht auf die offenbarten Ausführungsformen beschränkt ist, sondern im Gegenteil verschiedene Modifikationen und gleichwertige Anordnungen umfaßt, die in den Gedanken und Bereich der anliegenden Patentansprüche fällt.

5

10

15

20

25

30

35

40

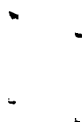
45

50

55

60

65



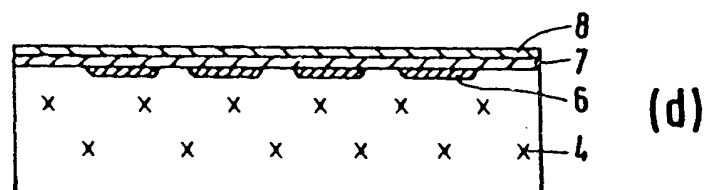
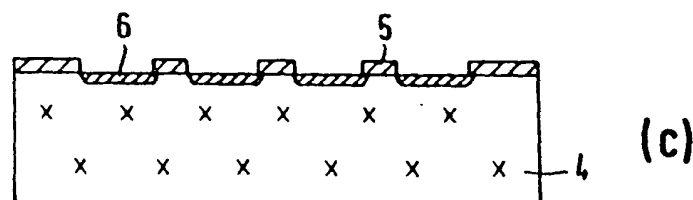
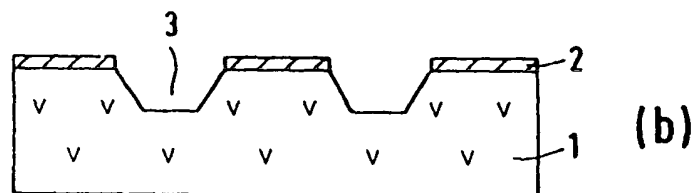
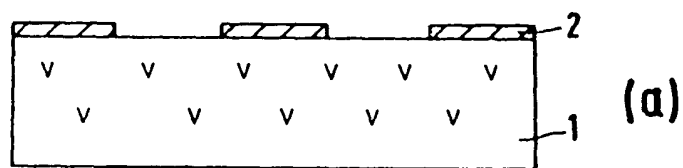
3743080

1/21

Nummer:
Int. Cl. 4:
Anmeldetag:
Offenlegungstag:

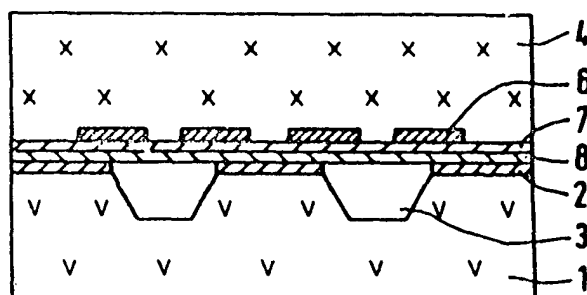
37 43 080
G 01 L 9/06
18. Dezember 1987
28. Juli 1988

FIG. 1

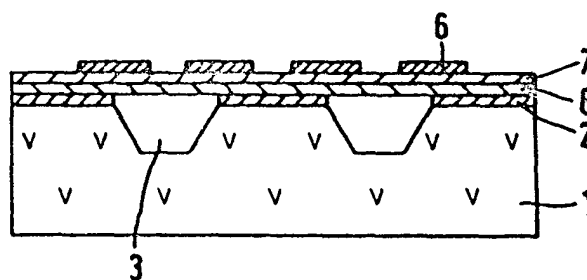




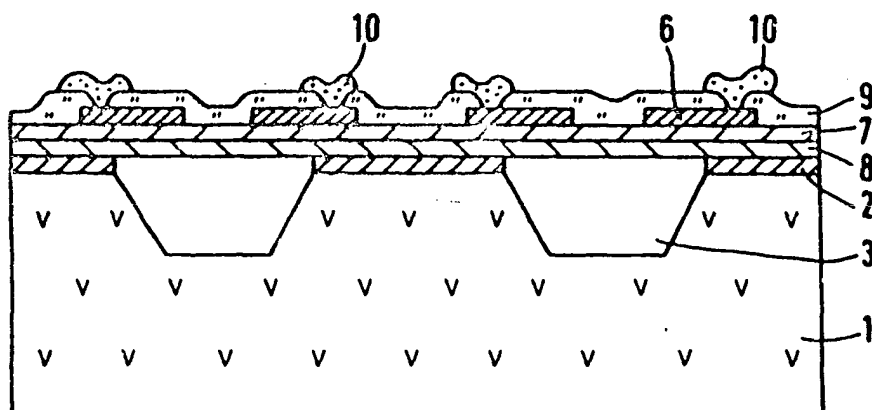
(e)



(f)



(g)





3/21

3743080

FIG. 2

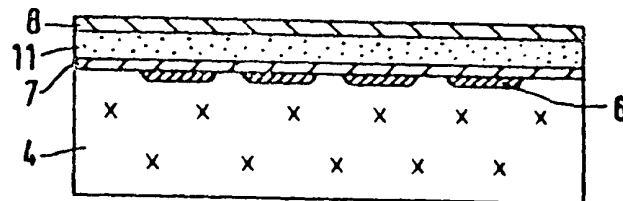
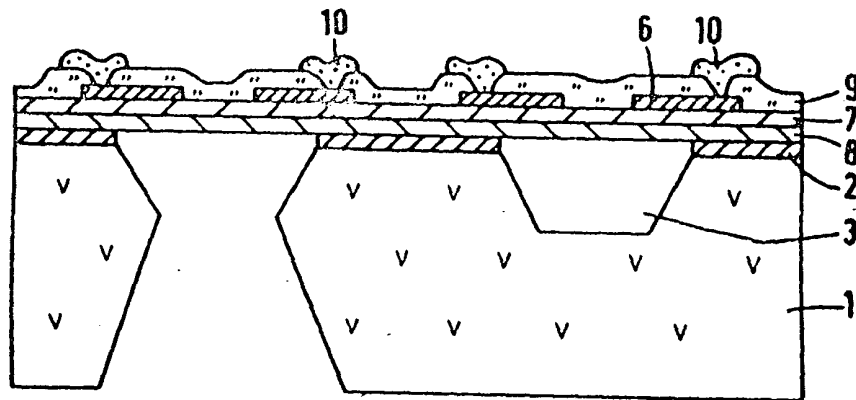
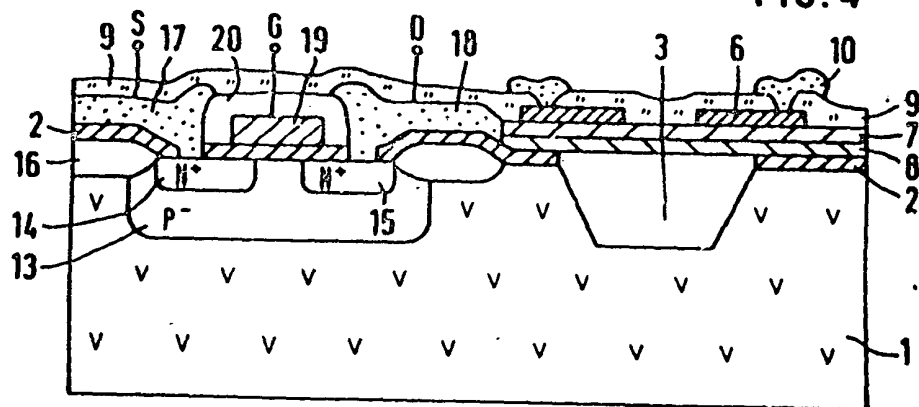


FIG. 3



12

FIG. 4





4/21

3743080

FIG. 5

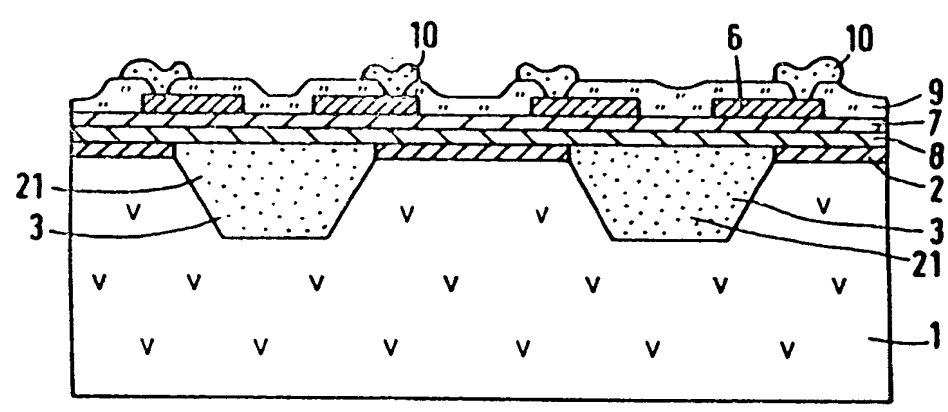
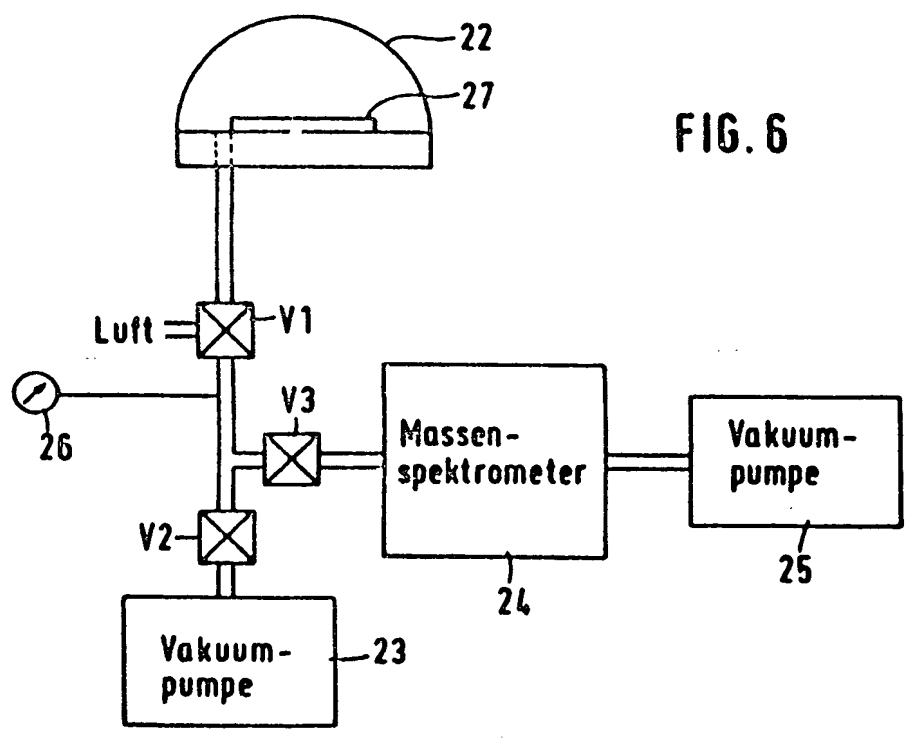


FIG. 6

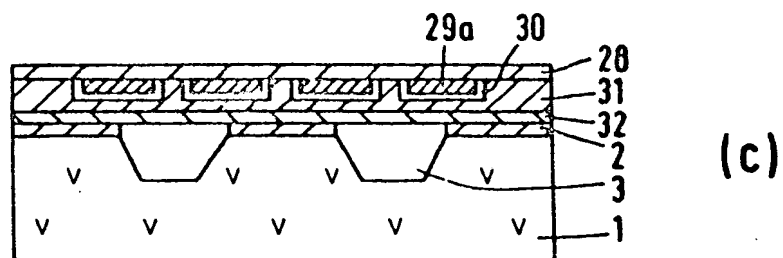
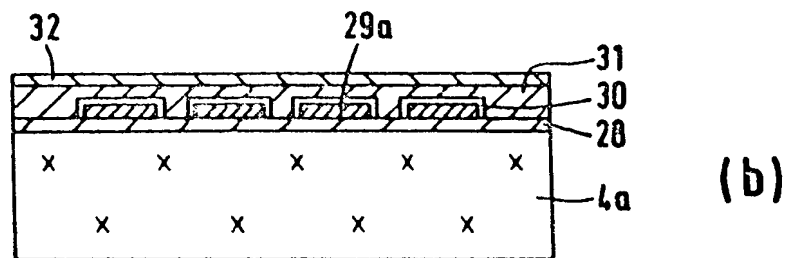
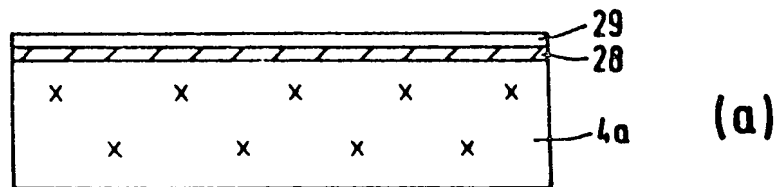




5/21

3743080

FIG. 7

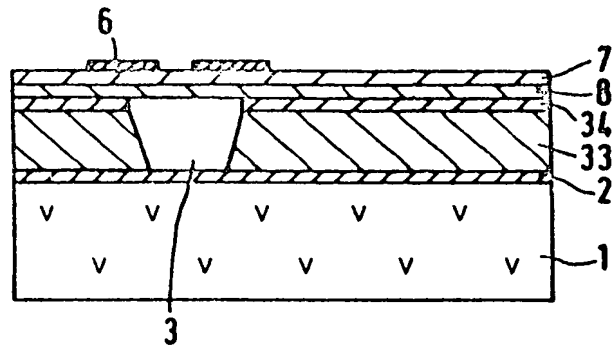




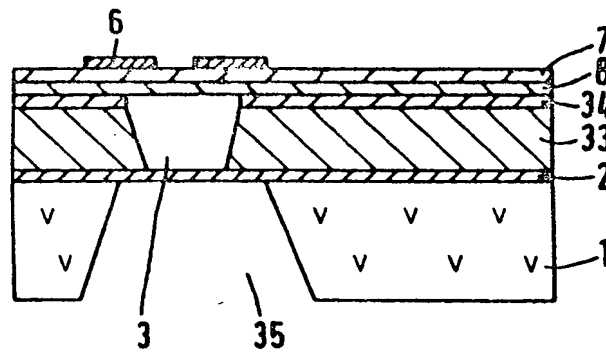
6/21

3743080

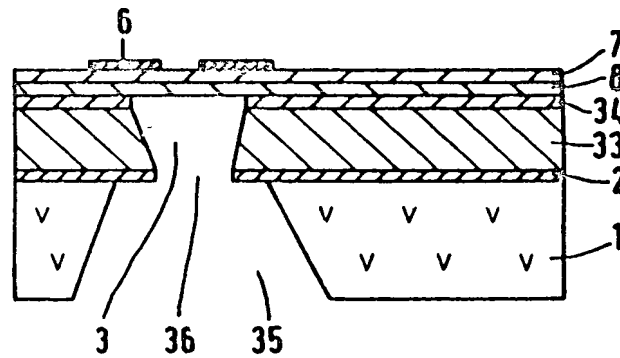
FIG. 8



(a)



(b)



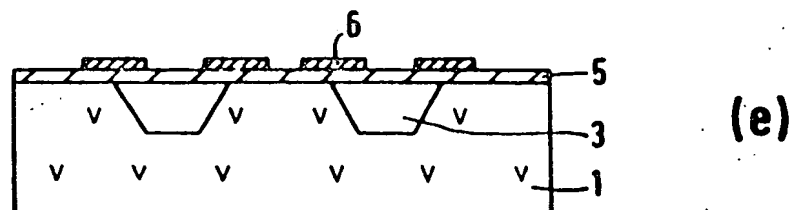
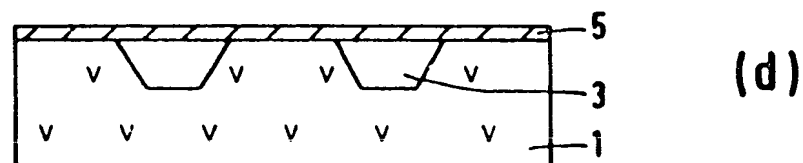
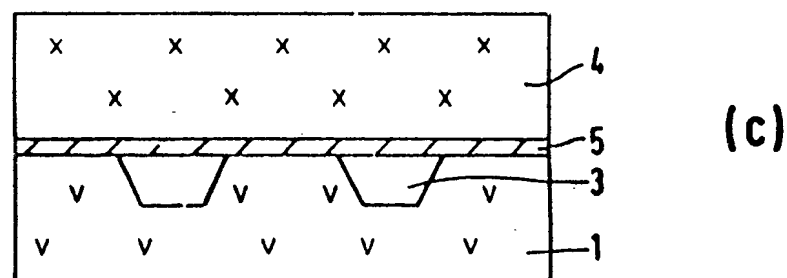
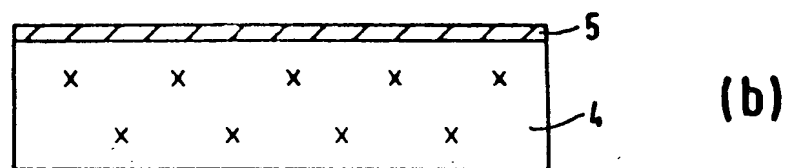
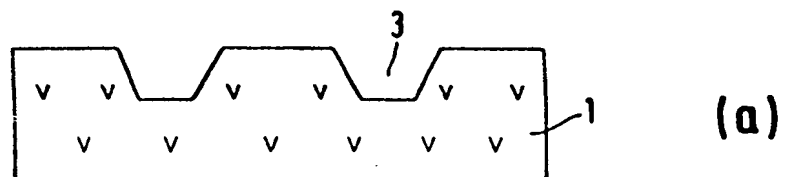
(c)



7/21

3743080

FIG. 9

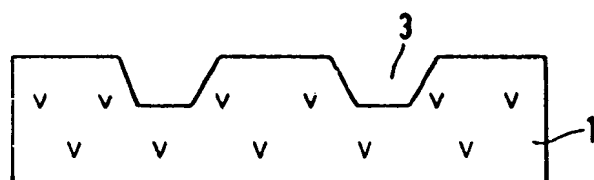




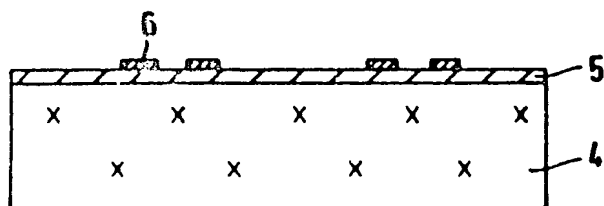
8/21

3743080

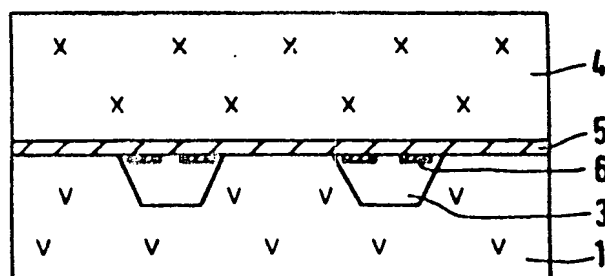
FIG. 10



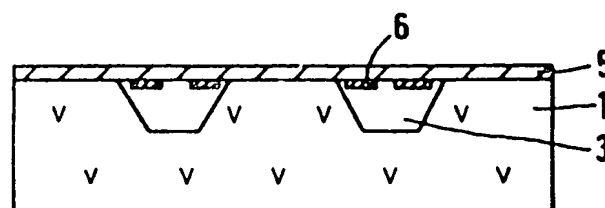
(a)



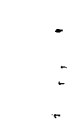
(b)



(c)



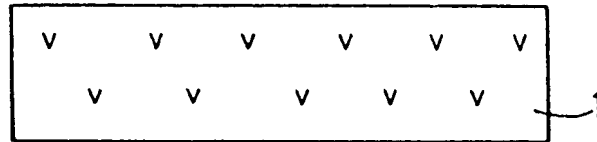
(d)



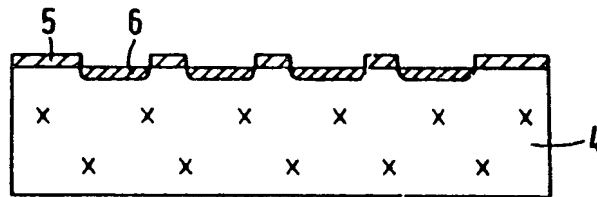
9/21

3743080

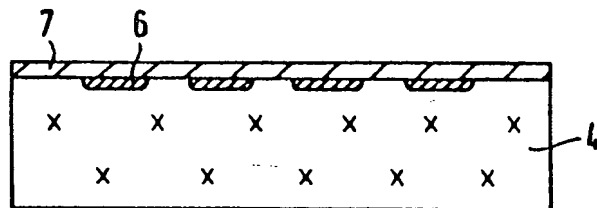
FIG. 11



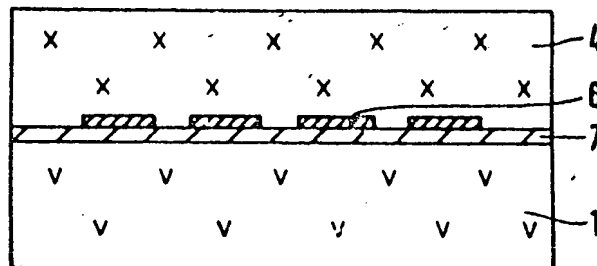
(a)



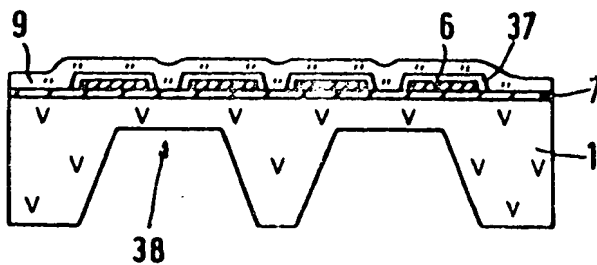
(b)



(c)



(d)



(e)

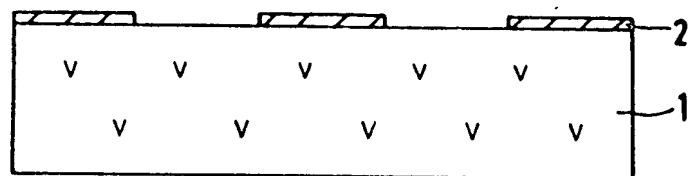


11

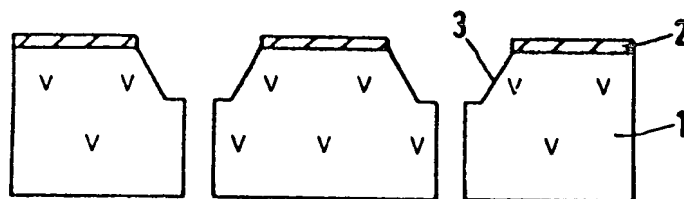
10/21

3743080

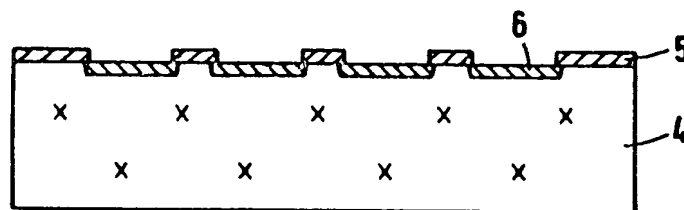
FIG. 12



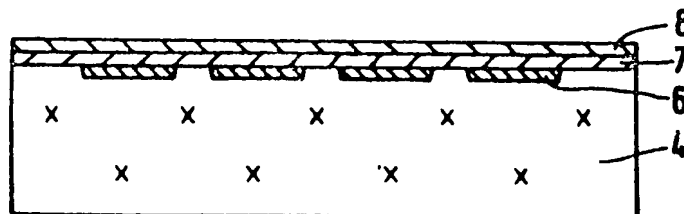
(a)



(b)



(c)

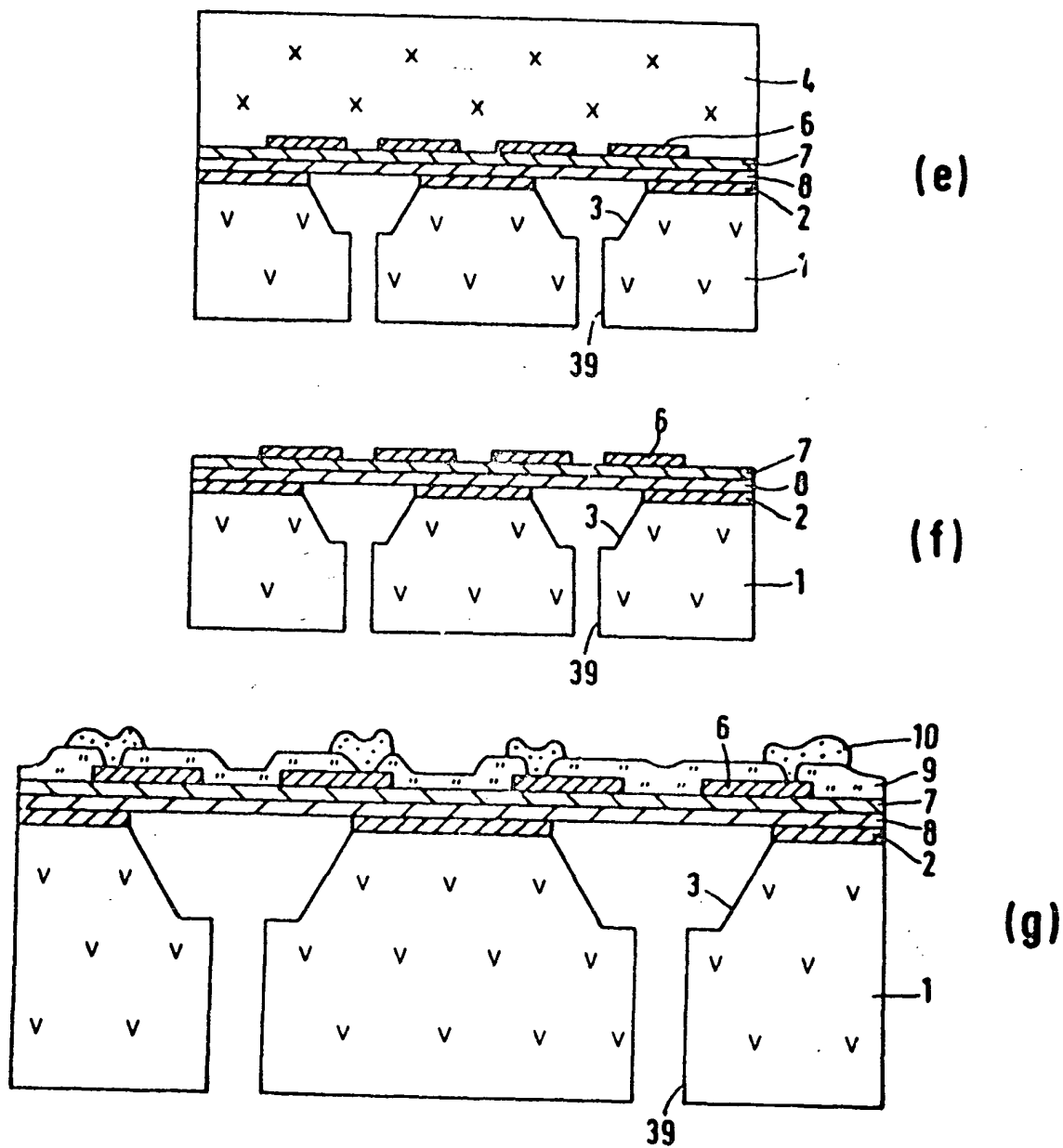


(d)



1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

FIG. 12



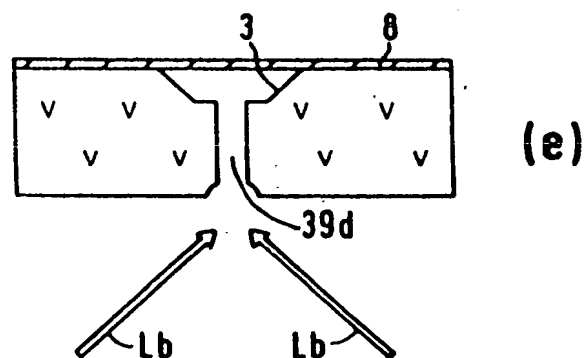
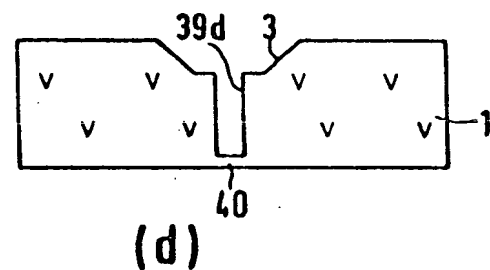
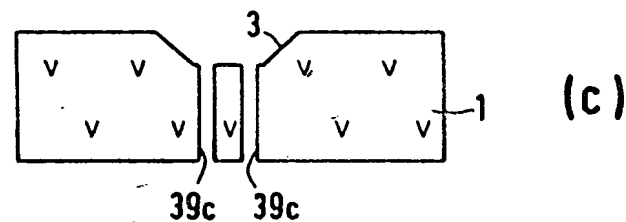
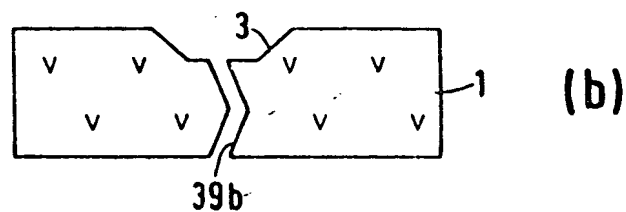
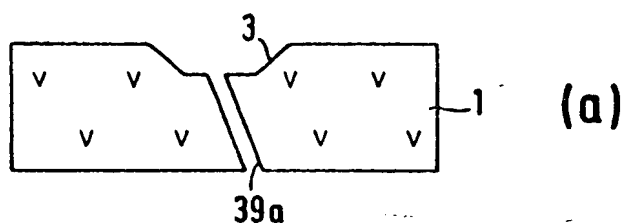


11

12/21

3743080

FIG. 13



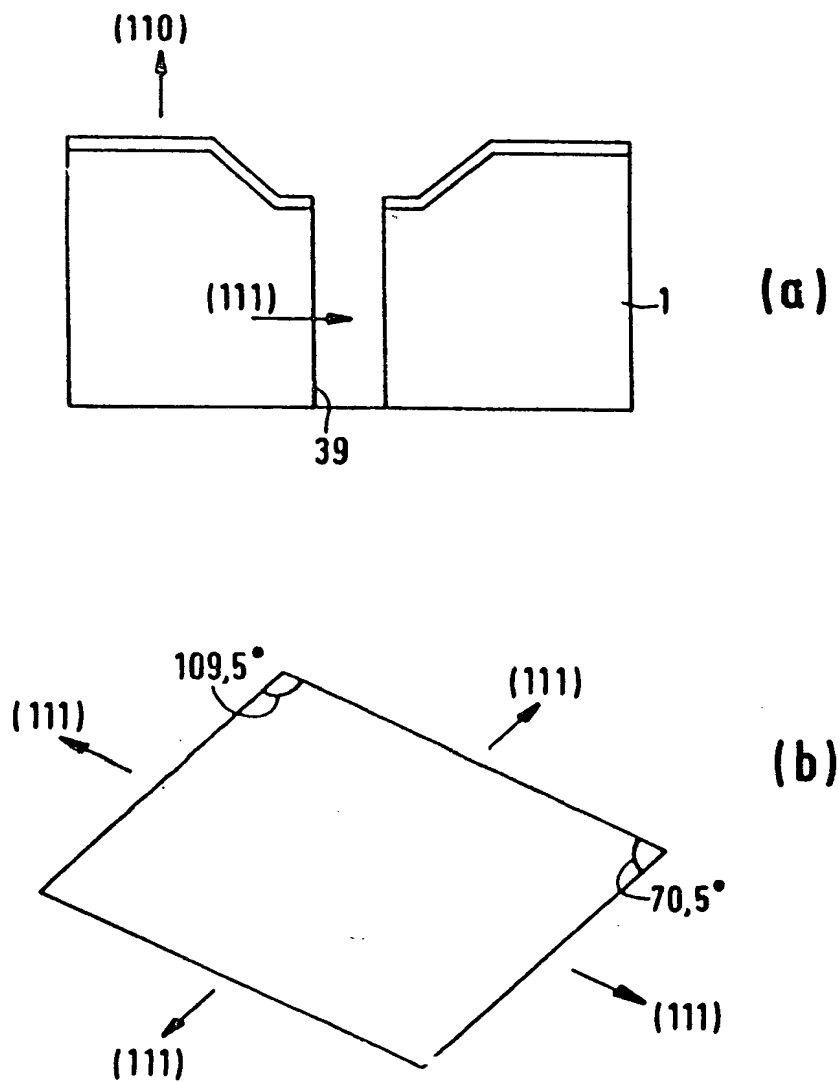


11

13/21

3743080

FIG. 14



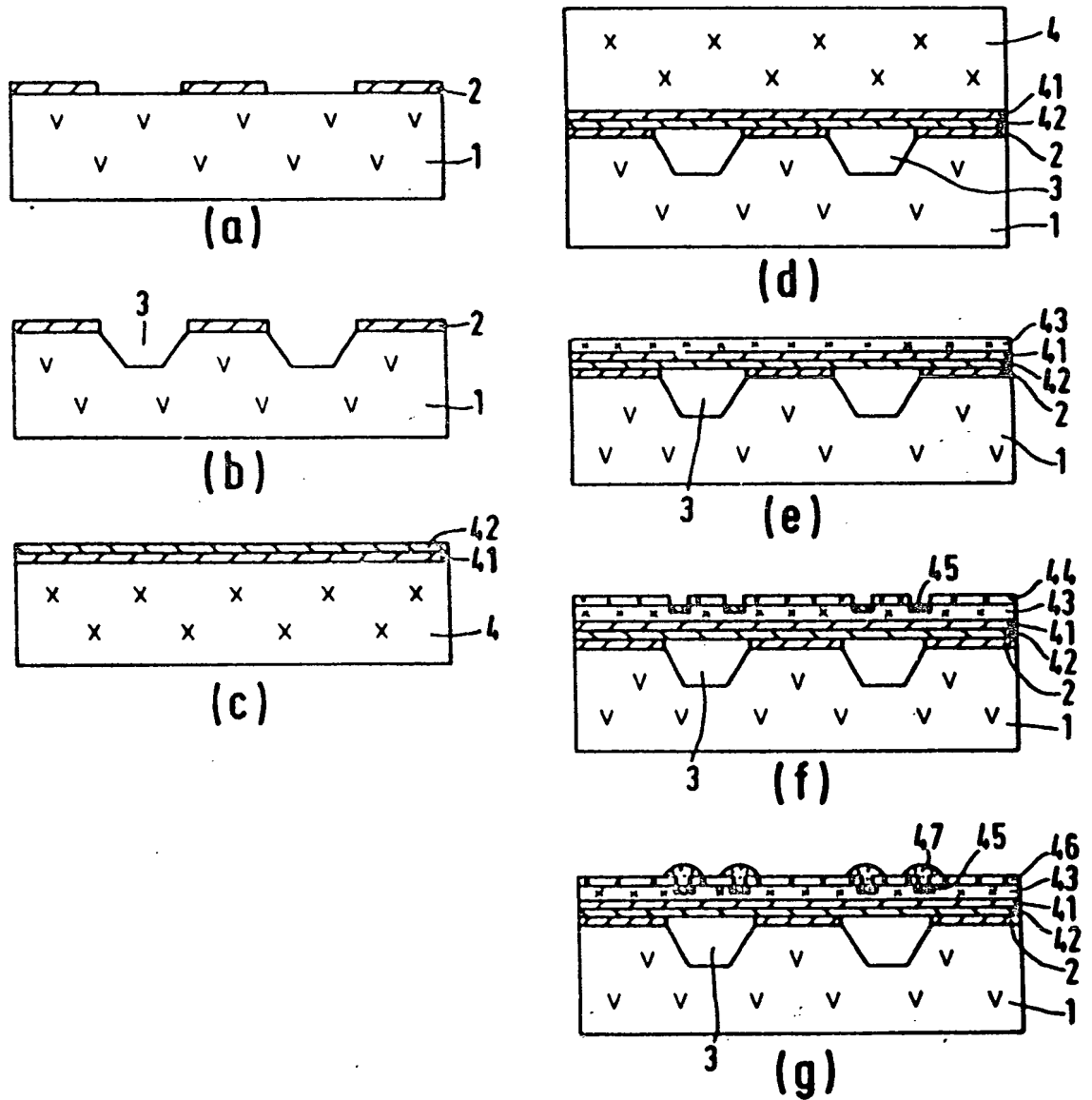


11

14/21

3743080

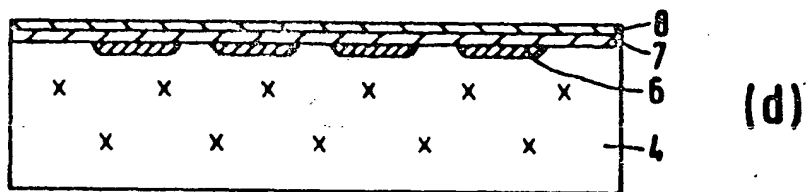
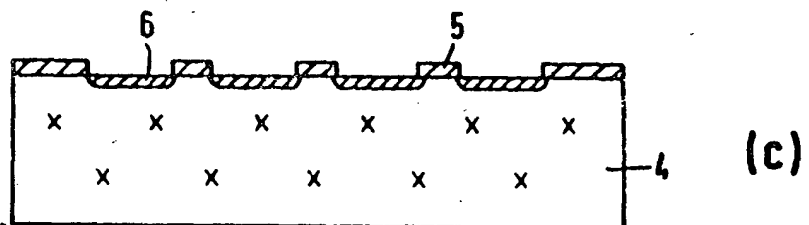
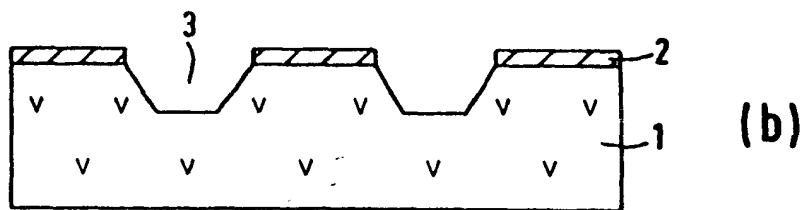
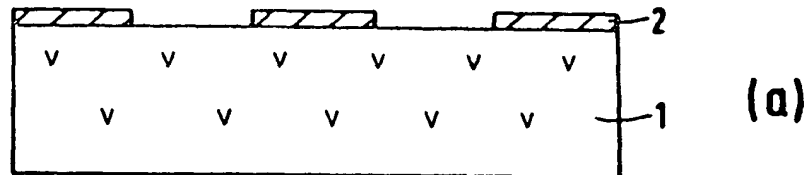
FIG. 15





11

FIG. 16



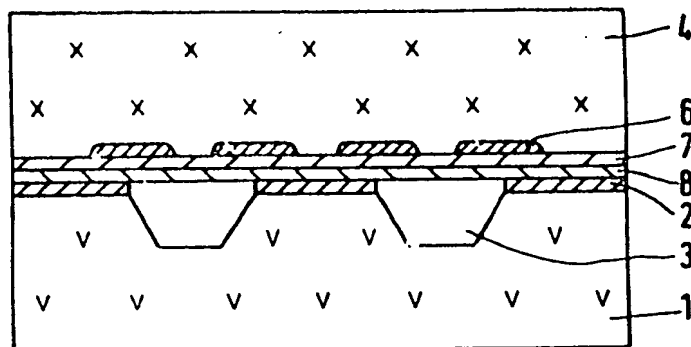


11

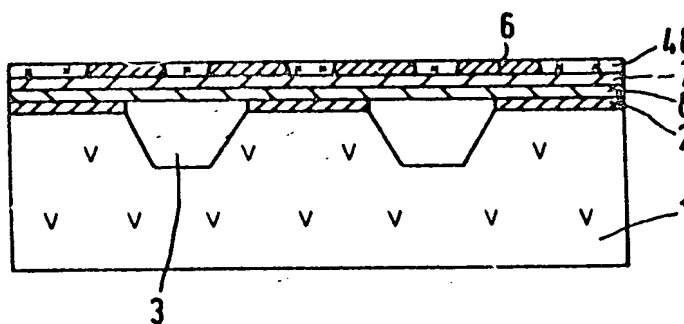
16/21

3743080

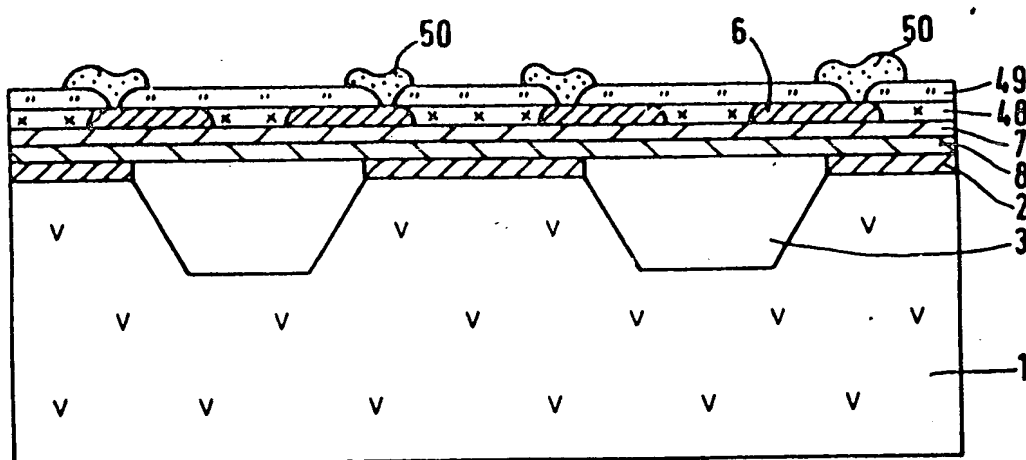
FIG. 16



(e)



(f)



(g)



11

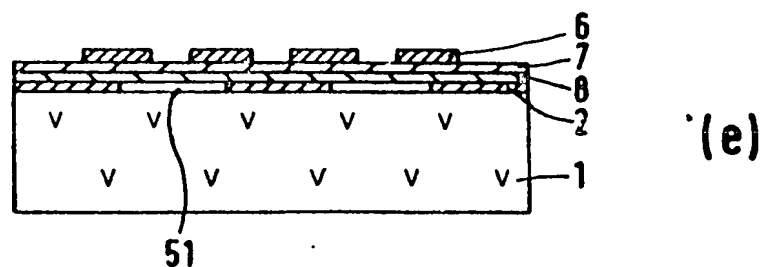
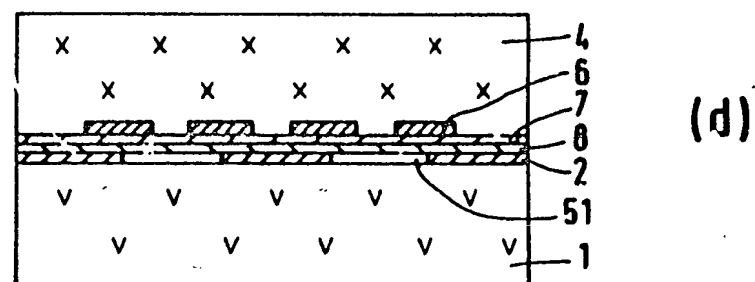
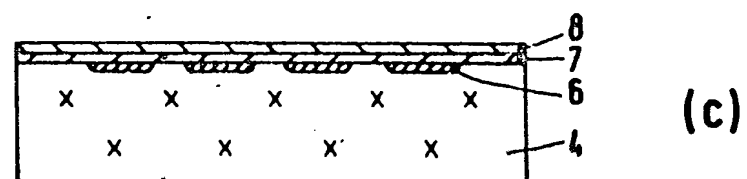
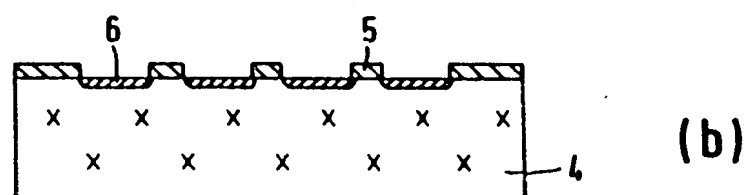
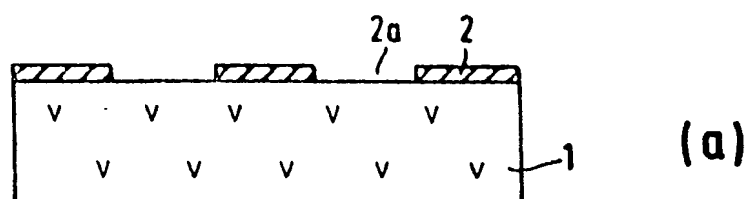
05 04 88

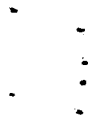
60

17/21

3743080

FIG. 17

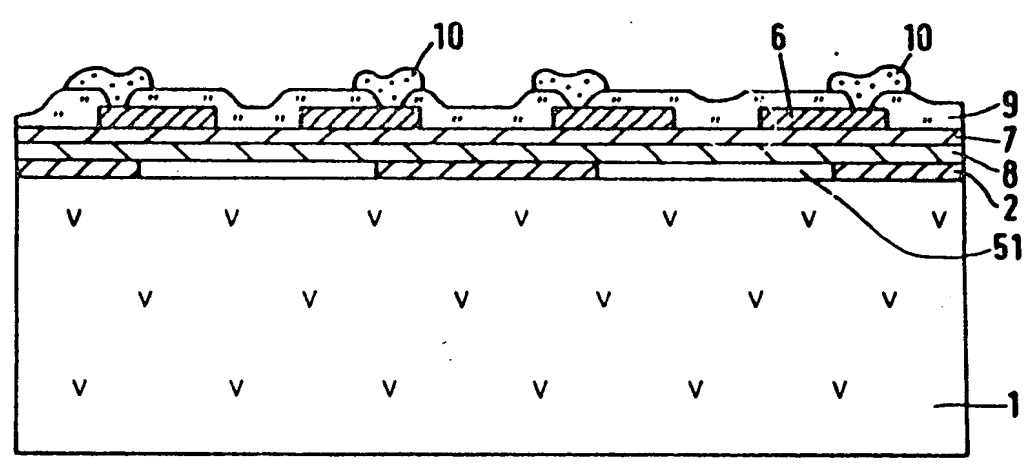




18/21

3743080

FIG. 17



(f)

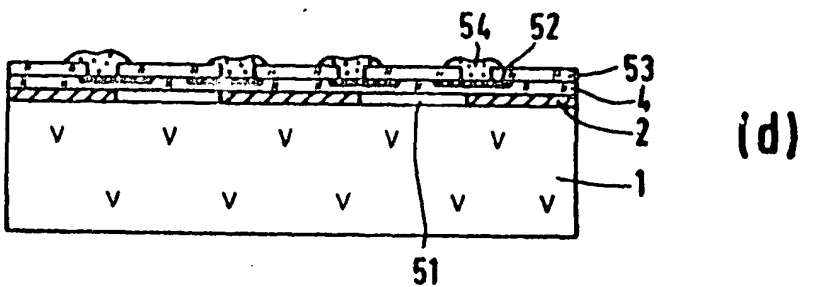
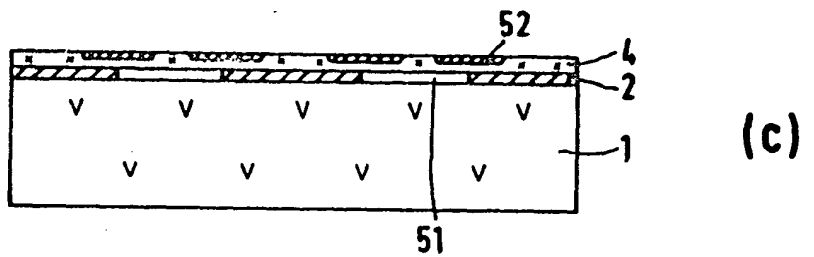
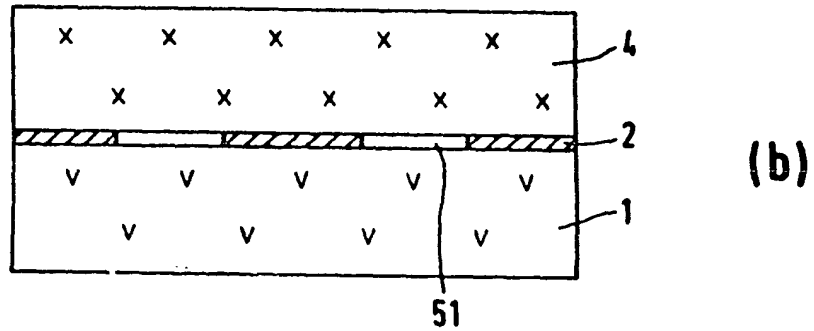
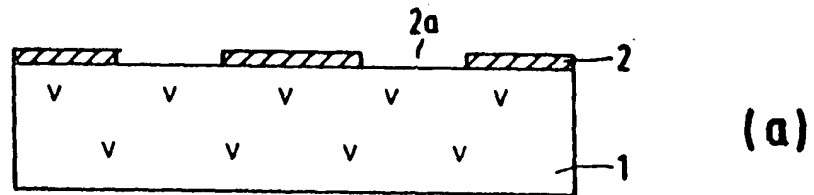


11

19/21

3743080

FIG. 10



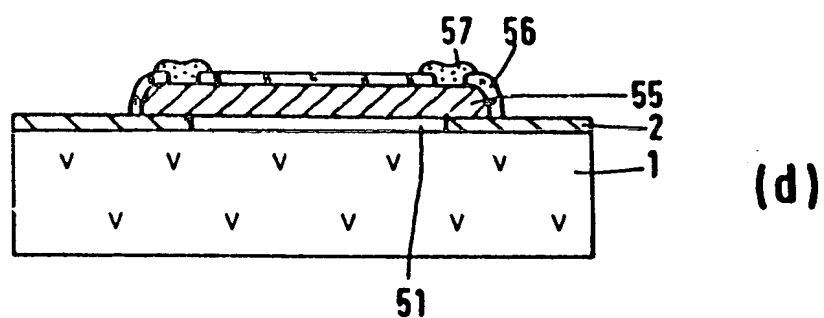
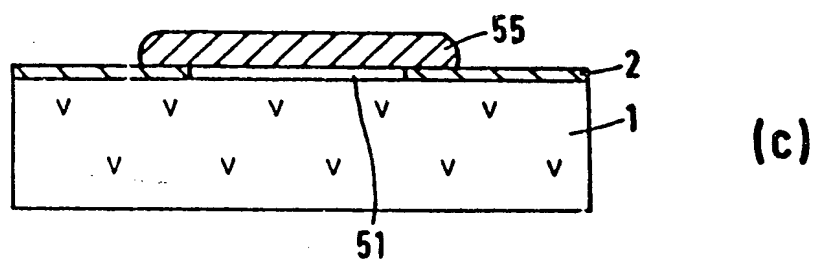
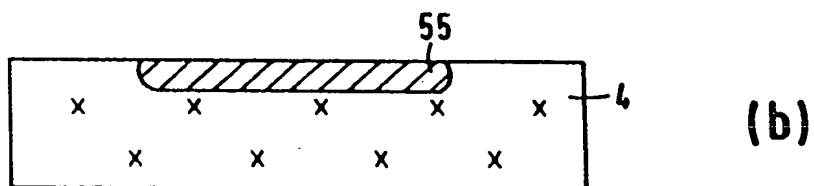
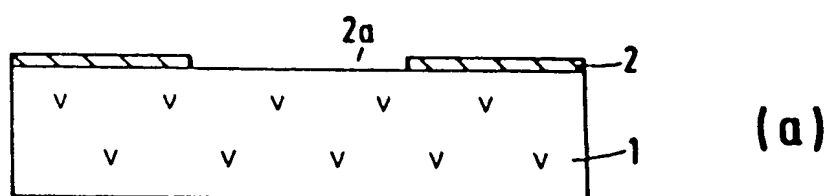


11

20/21

3743080

FIG. 19



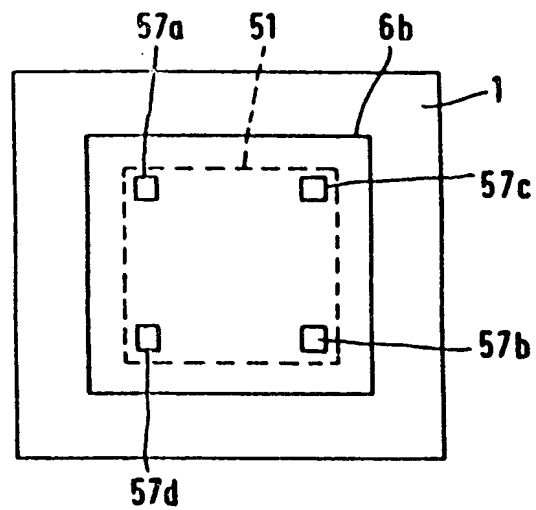


•

21/21

3743080

FIG. 19



(e)

FIG. 20

Stand der Technik

